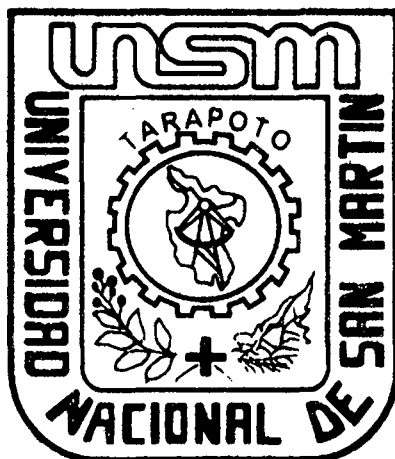


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**

**FACULTAD DE ECOLOGÍA**

**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LOS AZÚCARES  
REDUCTORES TOTALES DE LA CASCARA DE  
PLÁTANO DEL MERCADO AYAYMAMA EN  
LA CIUDAD DE MOYOBAMBA - 2014”**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORES:**

**Bach. MILY GISSELA MARTÍNEZ VÁSQUEZ**

**Bach. ROGER NEYRA GUERRERO**

**ASESOR:**

**Blgo. M Sc. LUIS EDUARDO RODRÍGUEZ PÉREZ**

**CÓDIGO: N° 060530114**

**MOYOBAMBA, DICIEMBRE DEL 2015**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO**

**FACULTAD DE ECOLOGÍA**

**ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**“OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LOS AZÚCARES  
REDUCTORES TOTALES DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO DEL  
MERCADO AYAYMAMA EN LA CIUDAD  
DE MOYOBAMBA - 2014”**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**Autores: Bach. MILY GISSELA MARTINEZ VASQUEZ  
Bach. ROGER NEYRA GUERRERO**

**Asesor: Blgo. M Sc LUIS EDUARDO RODRIGUEZ PEREZ**

**Código N°060530114**

**Moyobamba, Diciembre del 2015.**





**ACTA DE SUSTENTACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO**  
**PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**

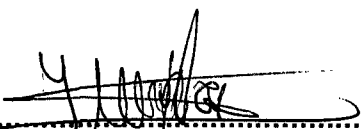
En la sala de conferencia de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín-T sede Moyobamba y siendo las Siete de la Noche del día Jueves 25 de Noviembre del Dos Mil Quince, se reunió el Jurado de Tesis integrado por:

<b>Ing. M.Sc. YRWIN FRANCISCO AZABACHE LIZA</b>	<b>PRESIDENTE</b>
<b>Blgo. M.Sc. ALFREDO IBAN DÍAZ VISITACION</b>	<b>SECRETARIO</b>
<b>Ing. RUBEN RUIZ VALLES</b>	<b>MIEMBRO</b>
<b>Blgo. M.Sc. LUIS EDUARDO RODRIGUEZ PÉREZ</b>	<b>ASESOR</b>

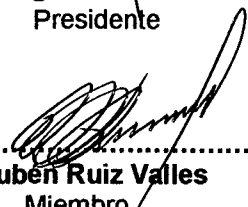
Para evaluar la Sustentación de la Tesis Titulado **“OBTENCION DE BIOETANOL A PARTIR DE LOS AZUCARES REDUCTORES TOTALES DE LA CASCARA DE PLATANO DEL MERCADO AYAYMAMA DE LA CIUDAD DE MOYOBAMBA”**; presentado por los Bachilleres en Ingeniería Ambiental **Bach. MILY GISSELA MARTÍNEZ VÁSQUEZ Y ROGER NEYRA GUERRERO**, según Resolución Consejo de Facultad N°0121-2014-UNSM-T-FE-CF. de fecha 14 de Octubre del 2014.

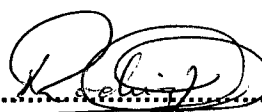
Los señores miembros del Jurado, después de haber escuchado la sustentación, las respuestas a las preguntas formuladas y terminada la réplica; luego de debatir entre sí, reservada y libremente lo declaran **APROBADO** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **REGULAR** y nota **DOCE**

En fe de la cual se firma la presente acta, siendo las **7:00 pm** horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el presente acto de sustentación.

  
.....  
**Ing. M.Sc. Yrwin Francisco Azabache Liza**  
Presidente

  
.....  
**Blgo. M.Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación**  
Secretario

  
.....  
**Ing. Rubén Ruiz Valles**  
Miembro

  
.....  
**Blgo. M.Sc. Luis Eduardo Rodríguez Pérez**  
Asesor

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicarle este trabajo a Dios que me ha dado la vida y fortaleza para terminar este proyecto de investigación.

A mis Padres por estar ahí cuando más los necesité por ser los motores y motivos de mi vida, mi razón de ser, por su incondicional apoyo en cada una de las etapas de mi vida, por estar conmigo siempre en las buenas y las malas y sobre todo por brindarme ese amor que solo ellos saben darme, por haberme instruido siempre en los valores éticos y morales los cuales me llevarán a ser una gran persona profesional.

Con cariño y admiración a mis hermanos, tíos quienes me alentaron constantemente durante toda mi formación en esta exitosa carrera profesional.

A los docentes de mi casa de estudios por orientarme corregirme, y lograr este documento que acreditara el esfuerzo de mi vida, en el largo camino de del éxito.

A todos mis amigos y personas que colaboraron y participaron directa e indirectamente durante el desarrollo del presente trabajo

**Mily Gissela Martínez Vásquez**

**Roger Neyra Guerrero**

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres Emiliano y Fermina por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir. A mis hermanos por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar.

A Mi madre Máxima Guerrero Chanta, a mi padre Segundo Eloy Neyra Alberca por ese esfuerzo constante, incansable en darme lo mejor para poder lograr el éxito y sobre todo por orientarme a ayudar a los demás sin esperar nada a cambio.

Al Blgo. M Sc Luis Eduardo Rodríguez Pérez por haber aceptado ser mi asesor; que desde el primer momento, darme su apoyo durante todo el desarrollo del proyecto de investigación y brindarme sus conocimientos académicos

A Mi alma mater UNSM-T Facultad de Ecología, por haberme formado con ideales y conocimientos necesarios para mi futuro desenvolvimiento profesional.

A mi tía Heydi Vásquez Ramos y tíos por ese apoyo constate en la formación de vida profesional.

A mis hermanos Wilson Neyra, Rosalina Neyra, por apoyarme en todo momento de mi carrera a sus sabios consejos acertadores.

**Mily Gissela Martínez Vásquez**

**Roger Neyra Guerrero**

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>iv</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vii</b>
<b>CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.</b>	<b>01</b>
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.</b>	<b>01</b>
<b>1.2. OBJETIVOS.</b>	<b>03</b>
1.2.1. Objetivo General	03
1.2.2. Objetivos Específicos	03
<b>1.3. FUNDAMENTO TEORICO.</b>	<b>04</b>
1.3.1. Antecedentes de la Investigación.	04
1.3.2. Bases Teóricas.	23
1.3.3. Definición de Términos.	56
<b>1.4. VARIABLES.</b>	<b>59</b>
1.4.1. Sistema de Variables	59
<b>1.5. HIPOTESIS.</b>	<b>59</b>
<b>CAPÍTULO II: MARCO METODOLÓGICO.</b>	<b>60</b>
<b>2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.</b>	<b>60</b>
<b>2.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>60</b>
<b>2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.</b>	<b>62</b>
2.3.1. Población	62
2.3.2. Muestra	62
<b>2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.</b>	<b>62</b>
<b>2.5. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.</b>	<b>64</b>
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS.</b>	<b>66</b>
<b>3.1. RESULTADOS.</b>	<b>66</b>
<b>3.2. DISCUSIONES</b>	<b>82</b>
<b>3.3. CONCLUSIONES.</b>	<b>84</b>
<b>3.4. RECOMENDACIONES.</b>	<b>85</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>86</b>





## RESUMEN

En la presente investigación denominada “Obtención de bioetanol a partir del residuo de cáscara de plátano del mercado Ayaymama – ciudad de Moyobamba 2014” se ha obtenido un 3,4% de bioetanol a partir de cáscara verde; y 3,0 % para cáscara madura, tomando como sustrato de la fermentación alcohólica a los azúcares reductores totales del residuo de cáscara de plátano, extraídos por el método físico del autoclavado y determinado por el método de Folin and Wu, habiendo obtenido una concentración de 1,6 g/L para cáscara verde y 1,7 g/L para cáscara madura. Para ello se consideró como parámetros de evaluación durante el proceso a la temperatura ambiental promedio que fue de 25 °C +/- 3°C, pH para la cáscara verde fue de 3,4% a 5,8 y de 3% a 5,3 en cáscara madura; y la concentración de azúcares reductores totales de bioetanol, habiéndose determinado que a la concentración de ART 1,6 g/L se obtuvo mayor porcentaje de bioetanol (3,4 %) y a la concentración de 1,7 g/L se obtuvo un porcentaje máximo de bioetanol de 3,0 %. Habiéndose formulado la hipótesis de investigación bajo el supuesto que el nivel de concentración de azúcares reductores totales determina el porcentaje de bioetanol obtenido a partir de la cáscara de plátano, se concluye que el incremento de la concentración de ART de cáscara de plátano verde y maduro influye en la producción de bioetanol.

En el marco metodológico, la investigación se condujo bajo un diseño en bloques completos al azar, con cinco tratamientos para las diversas concentraciones de azúcares reductores totales y cinco bloques para los distintos tiempos de fermentación en los biorreactores.

Durante el proceso se consideraron cinco etapas: preparación, extracción de los azúcares reductores totales, determinación de los azúcares reductores totales, instalación en los biorreactores y fermentación, con algunas modificaciones especificadas en el protocolo elaborado. Las muestras que se obtuvieron de los biorreactores fueron al tercer día, sexto día, noveno día, onceavo día y quinceavo día. Dichas muestras fueron analizadas en el laboratorio para determinar los porcentajes de bioetanol.

Respecto a los resultados y aplicando la prueba de Duncan, con un nivel de confianza del 95%, se demostró que el tratamiento tres es el óptimo para la obtención del bioetanol dado que proporciona el mayor porcentaje promedio de bioetanol.



## CENTRO DE IDIOMAS



### ABSTRACT

In the present investigation called "obtaining bioethanol from banana peel residue Ayaymama market - Moyobamba City 2014" has obtained a 3.4% bioethanol from green rind; and 3.0 % for Shell mature, taking as a substrate of the alcoholic fermentation of the sugars reducers totals of the residue of banana peel, extracted by the physical method of autoclaving and determined by Folin and Wu method, having obtained a concentration of 1.6 g/L for green rind and 1.7 g/L for shell mature. For this was considered to be evaluation parameters during the process to average environmental temperature that was 25 °C +/- 3°C, pH for the green rind was 3.4% to 5.8 and 3 per cent to 5.3 in mature shell; and the concentration of reducing sugars totals of bioethanol, having determined that the concentration of ART 1.6 g/L were obtained a higher percentage of bioethanol (3,4 %) and the concentration of 1,7 g/L was obtained a maximum percentage of bioethanol from 3,0 %. and the concentration of reducing sugars totals of bioethanol, having determined that the concentration of ART 1.6 g/L were obtained a higher percentage of bioethanol (3,4 %) and the concentration of 1,7 g/L was obtained a maximum percentage of bioethanol from 3,0 %.. Having made the research hypothesis under the assumption that the level of concentration of reducing sugars totals determines the percentage of bioethanol obtained from banana peel, it is concluded that the increase in the concentration of art of husk green plantain and mature influences the production of bioethanol.

In the methodological framework, the research was conducted under a design in a randomized complete block with five treatments for the various concentrations of reducing sugars totals and five blocks for the different times of fermentation in the bioreactors.

During the process were considered five stages: preparation, removal of the reducing sugars totals, determination of the total reducing sugars, installation on the bioreactors and fermentation, with some modifications specified in the protocol developed. The samples that were obtained from the bioreactors were



NIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA



## **CENTRO DE IDIOMAS**

---

on the third day, sixth day, ninth day, 11th day and fifteenth day. These samples were analyzed in the laboratory to determine the percentages of bioethanol.

Key words: banana peel residue; alcoholic fermentation.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

En la Región San Martín, específicamente en el mercado Ayaymama de la ciudad de Moyobamba, el consumo de plátano en diversas formas es alta, como parte de la alimentación de la población, lo que origina la producción de cantidades de residuos de cáscara de plátano, y como todo residuo manejado inadecuadamente genera gases tóxicos y de efecto invernadero, atracción de vectores y producción de lixiviados que arremeten contra la calidad hídrica superficial, subterránea y la calidad de los suelos. Este problema ha sido estudiado por múltiples investigadores, quienes proponen el aprovechamiento de la cáscara de plátano en la alimentación animal, el compostaje y la producción de almidón y etanol.

La evidente contaminación de la tierra es ocasionada por el esparcimiento de los “residuos” por acción de la descarga inadecuada, ocasionando un impacto estético, y contaminante ambiental, este problema de residuos sólidos varía en función de factores culturales asociados a los niveles de ingreso, hábitos de consumo, desarrollo tecnológico y estándares de calidad de vida de la población, regida por la sobrevaloración que las personas damos a estos productos.

¿Cuál es el porcentaje de bioetanol que se obtiene a partir de los azúcares reductores totales de la cáscara de plátano verde y maduro generados en el mercado Ayaymama de la ciudad de Moyobamba, 2014?

## **Justificación e importancia**

En ese sentido, la presente investigación pretende demostrar el valor agregado, del residuos de la cáscara de plátano en la ciudad de Moyobamba, se puede obtener bioetanol de tercera generación, porque son residuos que contienen gran cantidad de almidones y azúcares reductores, que son fuente de alimentación y mediante las levaduras fermentadoras productoras de etanol; al mismo tiempo el estudio permitirá dar solución a un problema ambiental de contaminación por acumulación de dicho residuos, los cuales producen diversos gases contaminantes (metano, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S) producto de la descomposición microbiana y son fuente de atracción de insectos (moscas, cucarachas) que traen consigo microorganismos patógenos, es ahí donde se centra la importancia y justifican de la presente investigación.

Los residuos que provienen de restos de productos de origen orgánico (cáscaras y fibras de plátano), la mayoría de ellos son biodegradables (se descomponen naturalmente). Se pueden desintegrar o degradar rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica. Así mismo son residuos provenientes de mercados de abastos y otros centros de venta de productos alimenticios. Es una buena fuente para el aprovechamiento de orgánicos y en especial para la elaboración de compost, fertilizante orgánico y para la obtención de otro sub producto.

En este trabajo de investigación se presenta en forma clara, la posibilidad de obtener otro producto de la cáscara de plátano como el bioetanol, por tal razón el proyecto es de mucha importancia ya que se daría a conocer sobre la biotecnología para la producción de bioetanol.

Cada día que pasa se hace más evidente la necesidad de encontrar nuevas alternativas que puedan reemplazar a los combustibles fósiles, que ayuden a la conservación y recuperación del medio ambiente. Es por esto que la energía a partir de la biomasa, es sin lugar a duda una fuente importante a tener en cuenta, porque se puede reducirla contaminación proveniente de la utilización de energía a partir de los combustibles fósiles.

## **1.2. OBJETIVOS:**

### **1.2.1. Objetivo general:**

Obtener bioetanol a partir de los azúcares reductores totales de la cáscara de plátano del mercado Ayaymama en la ciudad de Moyobamba, 2014.

### **1.2.2. Objetivos específicos:**

- a. Diseñar un protocolo adecuado para la obtención de bioetanol.
- b. Determinar los parámetros (Temperatura, pH y concentración de azúcares reductores totales) durante el proceso de obtención de bioetanol a partir de la cáscara de plátano.
- c. Evaluar, comparar el óptimo de rendimiento y productividad en la producción de bioetanol a partir los ART de la cáscara de plátano verde y maduro.

### 1.3. FUNDAMENTACION TEÓRICA.

#### 1.3.1. Antecedentes de la Investigación.

➤ **Antecedentes a nivel internacional.**

**Castañó, (2011)** Evaluó la producción de etanol a partir de harina de yuca en un sistema de hidrólisis enzimática y fermentación. Obtuvo una concentración de etanol de 14,6% v/v con una productividad de 2,5 g/h (48 horas de proceso) y con una concentración de harina de ñame de 28% m/v empleando la enzima STARGENTM 0,01 (mezcla de alfa amilasa y glucoamilasa) en la hidrólisis y la *Saccharomyces cerevisiae* en la fermentación.

**Sota, (2006.)** Realizó varios estudios para la obtención de etanol a través de biomasa lignocelulósica de la cáscara de plátano mediante procesos de hidrólisis enzimática y ácidos tanto en el Ecuador como en el resto de países bananeros como Colombia y Costa Rica, con una eficiencia promedio del 26 %; se evalúan varios tipos de enzimas tipo celulasas en *Lentinus endone*, *kimonas nubiles*, *Lentinus Crinitus*, pero para la descomposición de la lignina se opta por hidrólisis alcalina causando un impacto ambiental, se usa además sistemas con explosión de vapor para el rompimiento de la lignina pero esto tiene un costo elevado. Por otro lado se tiene conocimiento que para la descomposición de la lignina de la materia lignocelulosica se usa enzimas peroxidadas que se encuentran en varios hongos del tipo de la podredumbre blanca de la madera (*Trametes versicolor*), lo cual tiene aplicación biotecnológica.

Mientras mayores sean los derivados que se logren obtener de este residuo, se logra disminuir el residuo del plátano y se le da un valor agregado, según estudios que se hicieron en la Universidad Nacional de Ecuador, se obtuvo muestras, y se hizo una aplicación de la biotecnología para que aplicando a ellos el hongo *Trametes versicolor* con el fin de degradar la lignina y posterior utilización de enzimas celulasas se pretende reducir estos desperdicios y producir bioetanol. El mayor rendimiento de etanol fue en el sustrato que



desarrollo a un pH de 6,63, con 39 G.L 30,32 % de rendimiento de alcohol por cada 100 g de residuo seco. Mediante este estudio se avizora que existe un potencial uso de los residuos de cultivo de plátano como sustratos para la producción de etanol.

**Monsalve, (2006)** Obtuvo bioetanol a partir de cáscaras de plátano y almidón de yuca mediante hidrólisis ácida con ácido sulfúrico y fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* y *Zymomonas mobilis*. Se obtuvieron concentraciones cercanas al 8% de etanol. La hidrólisis ácida se llevó a cabo, adicionando 50 ml de ácido sulfúrico al 5% por cada 100 gramos de cáscara de plátano.

Así, la industria platanera produce una gran cantidad de residuos vegetales, ya que de la planta solamente se aprovecha el fruto, teniendo que disponer de las demás partes de la planta: pseudotallo, hojas y pinzote o raquis (parte de la planta que sostiene los manojos de frutos). Debido a que estos materiales están constituidos por fibras lignocelulósicas, se podrían utilizar como materia prima para la obtención de celulosa. Aunque se han realizado estudios para la obtención de celulosa a partir de residuos del banano, pero son muy similares a los usados en la industria papelera, los cuales están diseñados para materiales con alto contenido de lignina. Por otro lado, se desarrolló un proceso para la obtención de celulosa a partir de fibras vegetales con bajo contenido de lignina y que consiste en un proceso de cuatro etapas: hidrólisis ácida, cloración, hidrólisis alcalina y un blanqueo. Este proceso se ha aplicado con éxito para la obtención de celulosa a partir de las fibras lignocelulósicas recuperadas de agaves contenido de lignina del 12 - 16%. En dichos trabajos se encontró que las etapas de cloración y de extracción alcalina son las etapas que más afectan las características de la celulosa obtenida. Debido a que las fibras de pinzote y de pseudotallo del banano, presentan un bajo contenido de lignina.

### **Depurador de aguas contaminadas con metales.**

La cáscara cuando se seca y se muele hasta convertirlo en polvo, tiene la capacidad de limpiar las aguas contaminadas con metales pesados de una manera eficaz y barata.

El método brasileño se aprovecha para la limpieza de uno de los principios básicos de la química: los opuestos se atraen. En la cáscara de plátano existen un gran número de moléculas con carga negativa. Estas moléculas tienen un gran poder de atracción sobre la carga positiva de los metales pesados.

### **Producción de etanol a partir de la cáscara de plátano.**

En estudios realizados se evaluó la hidrólisis de la celulosa presente en cáscara de banano y su posterior fermentación a etanol, se ajustaron los medios de fermentación para los microorganismos *Saccharomyces cerevisiae* NRRL Y - 2034 y *Zymomonas mobilis* CP4. Se caracterizó la cáscara de banano, la cual posee un contenido de almidón, celulosa y hemicelulosa que representan más del 80 % de la cáscara ameritando el estudio de ésta como fuente de carbono. La hidrólisis ácida de cascara de banano produce 20 g/l de azúcares reductores. Para la fermentación realizada con *Sacharomyces cerevisiae* se logra una concentración de etanol de  $7,92 \pm 0,31$  % y no se aprecia una producción considerable de etanol (menor de 0,1 g/l). Productos deshidratados de remanentes de plátano (cáscara verde y madura, raquis y bráctea) en la elaboración de productos alimenticios.

El objetivo de producir estos alimentos deshidratados fue tener una alternativa de aprovechamiento, ya sea como materia prima que por su alto contenido de fibra puedan servir para desarrollar alimentos funcionales.

**Bocanegra, (2008)** Evaluó los rendimientos para el proceso de obtención de alcohol a partir de harina de Ñame (*Dioscorea bulbífera*, Trífida) por vía enzimática. Los resultados en la producción de alcohol demostraron que la variedad *D. trifida* en las concentraciones 10% y 13% m/v presentó mayores rendimientos en cuanto a volúmenes de alcohol, con valores de 786,87 y 792,96 L/Tm de harina respectivamente. De forma similar se demostró que la variedad *D. Bulbífera* en las concentración 16% m/v arrojó los menores rendimientos

con un valor de 520,66 L/Tm de harina. Empleando las enzimas comerciales Pectínex UltraSP - L, Termamyl 120 L y la AMG 300 L de la Novo Nordisk en la hidrólisis y *Saccharomyces cerevisiae* en la fermentación. Assis. T, (2007), en el estudio para la cuantificación de alcohol a partir de harina de batata obtuvo una concentración de etanol del 9.4% v/v y un rendimiento de 129 L de etanol/Tm de harina de batata, durante un tiempo de fermentación de 56 horas, empleando como microorganismo *Saccharomyces cerevisiae*. González y Molina en el 2006, estudiaron la hidrólisis enzimática y la fermentación de la papa (*Solanum tuberosum*), a fin de determinar las mejores condiciones para producir alcohol, quienes en el seguimiento del proceso de fermentación alcanzaron una concentración máxima de alcohol de 10,33% v/v. El rendimiento de etanol del proceso fue de 94,5 L de etanol/Tm de papa, utilizando una concentración de 20% m/v de sustrato.

**Cereda, (2004)** En Brasil. Desarrolló un estudio sobre la utilización del residuo sólido obtenido en la extracción de almidón de yuca que es usado fundamentalmente en la alimentación animal, el objetivo de este trabajo fue desarrollar la evaluación técnica económica de la producción de alcohol a partir del subproducto de la obtención del almidón de yuca. Para esto se usó como enzima complementaria la pectinasa para la hidrólisis del mosto, la caracterización del subproducto presentándolos siguientes resultados en base seca: 80% de almidón, 11,5% de fibra, 1,14% de cenizas, 0,85% de proteínas y 0,45% de azúcares. El proceso de hidrólisis tuvo una conversión de 86,31% del almidón inicial y un 80% de rendimiento de azúcares totales. Un análisis mostró que cerca del 75% de la materia seca inicial fue hidrolizado y el residuo presento 37% de almidón, 30% de azúcares totales, 30% de fibra en base seca, el mosto obtenido presentó una concentración de 13 °Brix siendo necesario concentrarlo, la fermentación alcohólica se realizó en 48 horas, el análisis económico demostró un proceso viable, necesitando un ajuste para su realización comercial.

**Grisales et al., (2001)** En el diseño de un proceso de producción de etanol anhidro a partir de jugo de caña, obtuvieron una concentración de 6 -8% v/v de etanol. El jugo de caña contenía una composición de 14% de sólidos solubles (14 °Brix) y en la fermentación el microorganismo utilizado fue *Saccharomyces cerevisiae*.

**Velásquez, (2007)** En sus trabajos de investigación sobre la obtención de etanol a partir de excedentes de plátano, mencionan que existen estudios realizados por un grupo de investigadores de Colombia y Brasil; para lograrlo han utilizado procedimientos químicos con equipos accesibles en el mercado. En dicho estudio, se concluye que la producción de etanol a partir de los excedentes orgánicos del banano (tallo, pseudotallo y fruto) es viable técnicamente, ya que el rendimiento volumétrico obtenido es de 19,8 L/ton de materia prima y, que el balance energético resultante es positivo, en el cual se aprecia que la energía utilizada es menor que la energía obtenida en el proceso.

**García, (2005)** En México investigaron la hidrólisis de derivados de la industria papelerá, residuos agrícolas, y municipales con fines de obtener etanol. Como resultados han logrado el diseño y montaje de un reactor para la hidrólisis de estos residuos

**Balat, (2011)** En enero de 2005, Colombia comenzó a mezclar la gasolina con 10% de alcohol carburante extraído de la caña de azúcar, y planea aumentar gradualmente ese porcentaje hasta llegar al 25% en 20 años. Hasta ahora, el millón de litros diarios de alcohol carburante que se genera en los cinco ingenios del Valle, sólo abastece a Bogotá y al Sur y Occidente del país, pero deberá elevarse en 500.000 litros más para cubrir otras regiones (18).

El bioetanol se utiliza normalmente mezclado con gasolina en concentraciones del 5%, 10% y 15%, denominadas E5, E10 y E15, respectivamente. Estas son mezclas habituales autorizadas por la normativa europea y que no requieren modificaciones en el motor de los vehículos cumpliendo las garantías del fabricante. En concentraciones superiores, se necesitan vehículos adaptados llamados vehículos de carburante flexible o FFVs (Flexible Fuel Vehicles) que

pueden utilizar tanto gasolina convencional como gasolinas con bioetanol en altos porcentajes que varían entre el 85% (E85), 95% (E95) hasta el 100% (E100)

**Valenzuela, (2012)** Brasil y EE.UU fueron los primeros países en empezar a producir etanol convencional a partir de caña de azúcar y maíz, respectivamente, para reducir su dependencia de los recursos fósiles y hoy en día, son dos de los países que más producen y exportan este alcohol. A partir del año 2000, la producción de bioetanol tuvo una gran expansión en el resto del mundo, cuando Europa otros países se unieron a la búsqueda de biocombustibles alternativos. Entre el año 2000 y 2007, la producción total de bioetanol a partir de materias azucaradas o amiláceas se triplicó hasta alcanzar los 25,5 Mtep. La materia azucarada más comúnmente empleada para la producción de etanol es la caña de azúcar y en cuanto a los cultivos amiláceos, la mayor parte proviene del maíz y en menores cantidades de otros productos como el trigo, centeno, cebada o sorgo.

El mayor rendimiento de etanol fue en el sustrato que desarrollo a un pH de 6,63, con 39 GL 30,32% de rendimiento de alcohol por cada 100 g de residuo seco. Mediante este estudio se avizora que existe un potencial uso de los residuos de cultivo de banano como sustratos para la producción de etanol.

**Zhang (2011)** La fermentación con *Zymomonas mobilis* con una concentración inicial de azúcares reductores iniciales de 20, 40 y 60 g/l, y un tiempo total de fermentación de 72 horas, se observa que se tiene concentraciones de biomasa superiores a 6 g/l; cuando se trabaja con jarabe de yuca; además se logran concentraciones superiores.

**Molina, (2003)** Trabajando sin agitación. Para el medio con glucosa se logran concentraciones similares trabajando a 60 g/l e inferiores trabajando a 20 y 40 g/l y la producción de biomasa es mejor con medios de cáscara de banano y jarabe de yuca.

**Teubner, et al., (1999)** Las cáscaras de naranja representan aproximadamente del 45 al 60% del peso de la fruta. El bioetanol obtenido por fermentación de estas materias primas que contienen hidratos de carbono, se adapta particularmente bien para sustituir a la gasolina en los motores de encendido por chispa. La producción de etanol combustible a partir de material lignocelulósico se ha convertido en una alternativa interesante en la utilización de este tipo de residuos que podrían abrir nuevos mercados para su revalorización. En la producción de bioetanol partir de material lignocelulósico tienen lugar varios procesos físicos, químicos y biológicos como son: reducción de tamaño, remoción de lignina, hidrólisis ácida, fermentación y destilación.

**Sarkar et al. (2012)** Aumentó la eficiencia del proceso de producción de etanol y hacerlo económicamente viable, las cualidades que debe cumplir el microorganismo ideal son las siguientes:

- Ser capaz de utilizar una amplia variedad de sustratos.
- Tener elevados rendimientos de etanol y productividad.
- Ser capaz de soportar elevadas concentraciones de etanol y altas temperaturas.
- Ser tolerante a los inhibidores presentes en los hidrolizados.
- Tener actividad celulolítica.

**Bohlmann, (2006)** Para poder reducir el costo de las materias primas y minimizar el impacto de la producción del etanol combustible en el sector de los alimentos, es necesario recurrir a sustratos alternativos como la biomasa lignocelulósica, la cual, debido a su bajo costo y alta disponibilidad, debe jugar un papel importante como materia prima para la producción de etanol a mediano y largo plazos. El uso de ese tipo de materia prima contribuirá positivamente a la seguridad energética y alimentaria, y al fomento de la economía rural. Los materiales lignocelulósicos, fundamentalmente en forma de residuos agrícolas, forestales y de cultivos energéticos, son el recurso renovable más abundante del planeta.

**Young. (2005)** La hidrólisis ácida de yuca y cáscara de banano como un alternativa para la producción de jarabe azucarado y su posterior fermentación hasta alcohol con *Saccharomyces cerevisiae* NRRL Y-2034 y *Zymomonas mobilis* CP4 g/l y para el jarabe de la cáscara de banano a 20 g/l. Este medio fue complementado con fosfato ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), nitrógeno ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), extracto de levadura y  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  como medio de fermentación óptimo para la bacteria *Zymomona mobilis*. Para la cepa de *Sacharomyces cerevisiae*, se ajustó el pH del medio a 4 y se ajustó la concentración de azúcares reductores a 90 g/l para el jarabe de yuca. La fermentación se realizó en Erlenmeyers de 250 ml, con un volumen efectivo de trabajo de 50 ml. en anaerobiosis a 30°C y 200 rpm, en un agitador orbital Gufa, por 72 horas. Para la *Z. Mobilis* y de 5 horas para *Sacharomyces cerevisiae*.

**Aguilar y Canizales (2005).** Lograron la obtención de azúcares fermentables a partir de residuos lignocelulósicos de la industria cervecera mediante hidrólisis ácida y desarrollaron un modelo cinético.

**Ferrer (2002)** Ha estudiado la cinética de la hidrólisis ácida del bagacillo de caña para obtener azúcares reductores. El mejor resultado se consiguió con ácido sulfúrico al 6% y 4 horas de reacción. Adicionalmente, han realizado la hidrólisis ácida de la pulpa de café con ácido sulfúrico.

**Cheng, (2002)** Tratamiento de la cáscara de banano: La cáscara de banano se redujo a un tamaño de partícula entre 0.1 y 0.5 mm y posteriormente se realizó el método básico de eliminación de lignina, reportado por Hoyos y Pérez (2005), sumergida en una solución de NaOH 0.1N: a los 15 minutos se adicionan 0.816 g. de sulfato de calcio y se deja en reposo por 3 horas, se separa el material particulado de la solución. La hidrólisis ácida se llevó a cabo adicionando 50 ml de ácido sulfúrico al 5% por cada 100 gramos de cáscara de banano, a una temperatura de 125°C y 15 psi, durante 15 minutos.

**Monsalve, (2006)** Obtuvieron etanol a partir de cáscaras de banano y almidón de yuca mediante hidrólisis ácida con ácido sulfúrico y fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* y *Zymomonas mobilis*. Se obtuvieron concentraciones cercanas al 8% de etanol. La hidrólisis ácida se llevó a cabo, adicionando 50 ml de ácido sulfúrico al 5% por cada 100 gramos de cáscara de plátano.

**Olsson, (1996)** La cáscara de banano está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, su composición varía dependiendo del origen del material.

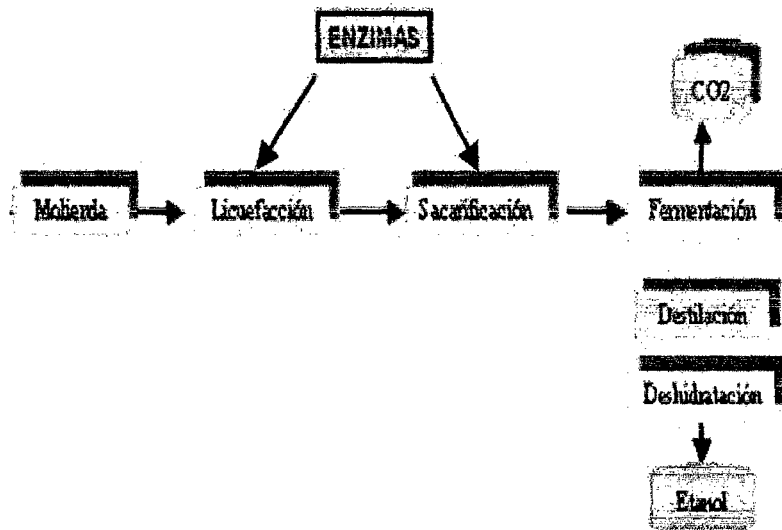
**Martínez, (2003)** También se han realizado trabajos utilizando enzimas para la hidrólisis de material vegetal, donde se estudian las condiciones de sustrato, enzima y tiempo para obtener altas conversiones. La cáscara de banano es una fuente abundante de material celulósico, es el constituyente externo del banano y representa alrededor del 40% en peso. En Colombia es producido principalmente en Antioquia en la zona de Urabá y se rechazan en promedio el 20 % de la producción anual (200.000 Ton/año aproximadamente), convirtiéndose en un problema de contaminación ambiental en las regiones de producción.

**Kim, (1985)** El boniato (*Ipomea batatas*) ha sido considerado una buena materia prima para la producción de etanol por fermentación por su alto rendimiento en contenido de almidón por unidad de área cultivada.

**Zhang, (2011)** Los cultivos de maíz, remolacha azucarera y de sorgo dulce, tendrían rendimientos en alcohol por unidad de superficie, alrededor de la mitad del boniato. La mayor parte de su materia seca corresponde a almidón. Contiene además azúcares simples solubles como glucosa, fructosa y sacarosa, cantidades menores de fibras y proteínas. En la bibliografía hay pocos estudios sobre la producción de etanol usando boniato como materia prima.



**Rodríguez, (2009)** Para la producción de etanol a partir de maíz hay dos métodos primarios: la molienda seca y la molienda húmeda. En los dos métodos se obtienen ciertos subproductos pero en cada uno tienen características diferentes, sin embargo ambos procesos incluyen esencialmente los mismos pasos: El preparado, la fermentación, recuperación del alcohol y la generación de subproductos. Bajo la molienda seca se llevan 7 pasos.



Fuente: **Rodríguez, 2009**

**Rodríguez, (2009)** El mosto fermentado, contendrá cierto porcentaje de alcohol (aprox. 15%) y agua (al 85%), así como todos los sólidos no fermentables del maíz y de la levadura.

**Urbaneja, (1997)** Realizó a escala piloto la hidrólisis ácida del bagazo de la caña de azúcar con ácido sulfúrico; analizo variables como porcentaje de sólidos en el bagazo, temperatura y tiempo de reacción y se obtuvieron los mejores resultados a 50°C y bajos porcentajes de sólidos.

**Taherzadeh, (1999)** La producción de etanol a partir de materiales lignocelulósicos requiere de varias etapas para garantizar la obtención de azúcares fermentables. La hidrólisis completa de la celulosa origina glucosa, mientras que la de las hemicelulosas da lugar a pentosas y hexosas. La hidrólisis de la celulosa puede ser catalizada por ácidos o por enzimas. Otros

métodos de hidrólisis como la irradiación con rayos gamma o microondas están aún distantes de la aplicación comercial.

**Afanador,(2005)** El problema de residuos sólidos varía en función de factores culturales asociados a los niveles de ingreso, hábitos de consumo, desarrollo tecnológico y estándares de calidad de vida de la población, regida por la sobrevaloración que las personas damos a estos productos.

➤ **Antecedentes a nivel nacional.**

**Dammer, (2008)** El Perú tuvo para el 2011 el objetivo de dividir su matriz energética en tres (03) fuentes: petróleo (33%), gas natural (34%) y energías renovables (33%).

Para cumplir con lo referente a las “energías renovables”, el estado está entregando concesiones de tierras en los bosques amazónicos y en la costa para promover la producción de caña de azúcar, pero no para satisfacer el mercado nacional. El Perú no requiere, en términos cuantitativos, un incremento significativo en la producción de Biocombustibles, porque su matriz energética está más apuntada al tema del gas natural y no tanto al tema de los Biocombustibles, por lo que la producción de éstos está ahora más centrado a la exportación y mientras el precio del petróleo siga incrementándose, este rubro aparecerá como una interesante fuente de ganancias. En el marco de la implementación del tratado de libre comercio con los Estados Unidos, se creó el Ministerio del Ambiente y su ministro, el prestigioso ecólogo Antonio Brack, ha establecido tres condiciones para la producción de Biocombustibles en el Perú:

- Que no se talen bosques primarios.
- Que no se utilicen tierras para la producción de alimentos.
- Que se utilice riego tecnificado. Entonces, en el Perú, la producción de Biocombustibles debe apuntar a resolver los siguientes problemas: la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, al desarrollo rural, al abastecimiento energético; además de desarrollar ganancias por exportaciones

**Guerrero, (2012)** La utilización de bioetanol como combustible a partir de productos alimenticios, como: frutos, granos, maíz y aceites comestibles; y de la necesidad de aprovechar un recurso, hasta la fecha, inutilizado en la región de Piura: hojas, tallos y pseudotallos de plátano; los cuales alcanzan aproximadamente 50 000 mil toneladas/día de desechos, y que debido a su alto contenido de celulosa y hemicelulosa lo convierte en una potencial fuente de energía de segunda generación para la obtención de etanol, que podría satisfacer los 90 000 litros de etanol anhidro de demanda interna insatisfecha y los más de 40 000 litros de etanol para uso industrial; además de contribuir a la disminución de CO<sub>2</sub> emitido por los vehículos, a la atmósfera.

El proyecto se ha dividido en dos partes:

- **Diseño del proceso continuo de producción de etanol a partir de residuos agrícolas de plátano**, punto en el que se describirán los procesos de obtención de etanol anhidro, resaltando las últimas tecnologías utilizadas en cada uno de ellos, cuya información ha sido tomada de la base de datos Science Direct. Cabe mencionar, que varias de éstas tecnologías aún se encuentran en prototipo, pero han demostrado, hasta la fecha, el incremento considerable en los rendimientos de los procesos. Después de realizar el estudio de los procesos de obtención de etanol, a partir de los residuos agrícolas de plátano, obtenemos que el rendimiento del proceso es de 24.47 litros de etanol por tonelada de materia prima. Se obtiene 139.92 litros de etanol por una tonelada de celulosa y hemicelulosa.
- **Análisis a nivel de laboratorio de la obtención de etanol a partir de residuos agrícolas de plátano**, en este punto se describe el análisis experimental que el equipo del proyecto ha realizado a partir de hojas y tallo de plátano, en las instalaciones del laboratorio de química de la Universidad de Piura, y en laboratorio de microbiología de la Universidad Nacional de Piura; obteniendo como resultado: etanol con grado alcohólico en volumen del 72%. El rendimiento obtenido de la experimentación es el 4%. Del análisis económico financiero se ha determinado una VAN S/. 9,079,185.53 de y una TIR de 86%, la cual

indica que el proyecto es altamente rentable. Además de obtiene un payback de 2 años.

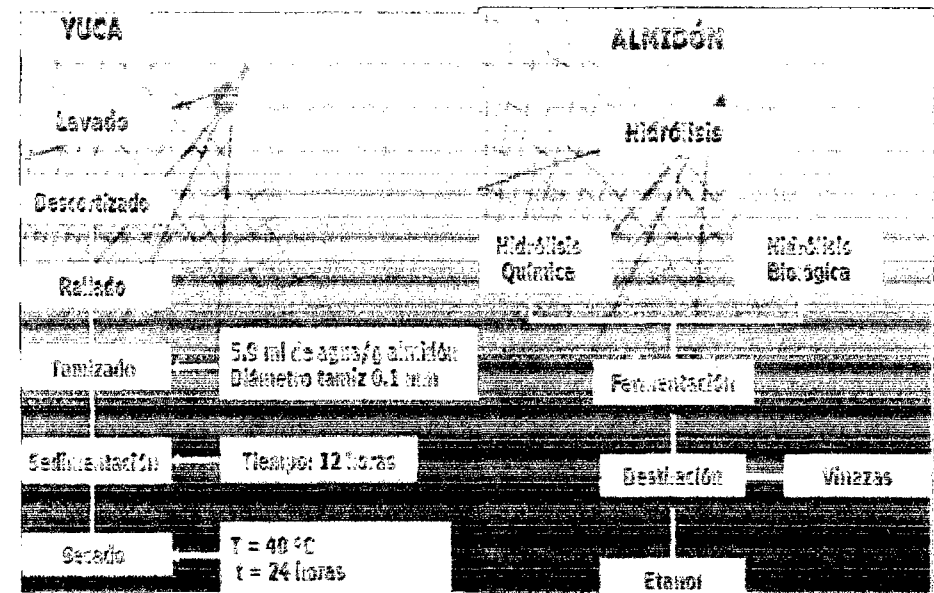
**Corporación, (2006)** En cuanto a los subproductos de la industria de jugos cítricos (bagazo y cáscara), de la producción mundial de cítricos de 102,239,670 Tm, de las cuales Colombia aportó 305.000 Tm y el Tolima 144.550 Tm de esta cantidad y suponiendo que el 50% de la producción total mundial, nacional y departamental se destine para esta industria se obtendría una generación de desechos de 25.559.918 Tm, 76.250 Tm, y 36.138 Tm respectivamente.

**Aycachi, (2009) Bioetanol a partir de Remolacha:** La remolacha azucarera (*Beta vulgaris*) es una planta bianual que durante el primer ciclo de su desarrollo produce una raíz con alto contenido de sacarosa (16 a 18% en peso) dependiendo de la variedad (ciclo de 6 a 7 meses a partir de la siembra) y en el segundo ciclo desarrolla un tallo floral, yemas, flores y semillas. La materia seca de la remolacha, es casi tan rica como la de los cereales, ya que en base seca, el 77% del peso de la raíz, está representado por azúcares fermentables, casi exclusivamente por sacarosa. El análisis típico del jugo difusor (equivalente al jugo mezclado de la caña) nos muestra en base seca, un contenido de 187,75% de sacarosa más 1,03% de azúcares invertidos. Además, de una tonelada de raíz, como co-producto de la fabricación de Bioetanol, se producen: 472 Kg de pulpa húmeda (que al secarse puede utilizarse como alimento para el ganado), 17 Kg de pectina y 2,9 Kg de lignina. En Europa la remolacha, junto con el trigo, representan las materias primas principales para la producción de Bioetanol. Francia es uno de los países que más ha desarrollado tecnología para obtener Bioetanol de remolacha, después de establecido el Protocolo de Kyoto. Tienen sistemas para producir en la misma planta, etanol de remolacha durante otoño y de trigo el resto del año y próximamente se pondrá en marcha en Francia una planta de 2,6 millones de hectolitros (Hl.) de Bioetanol y otra de 3 millones de Hl. Al producir etanol por fermentación se obtienen 0,2 L etanol/Kg de remolacha, siendo la relación

energía entregada/energía utilizada igual a 2,92. Además presenta una producción media de 55 T/ha, lo que equivale a unos 50 Hl./ha, pero con la desventaja de la disponibilidad de sólo 60 días al año.

**Bioetanol a partir de Yuca:** La yuca (*Manihot esculenta*), conocida también como mandioca o tapioca, es en estos días una materia prima interesante para la producción de Bioetanol, sobre todo en los países en vías de desarrollo, ya que es un cultivo prácticamente exclusivo de este tipo de países. Nigeria es el precursor de la producción mundial de etanol de yuca en el mundo, pero su producción no alcanza niveles industriales competentes, aunque produce 39 millones TM de yuca, su meta es usar la mayor parte de ésta como materia prima para etanol.

Para su producción se sigue el siguiente esquema:



Fuente: (Aycachi, R, 2009).

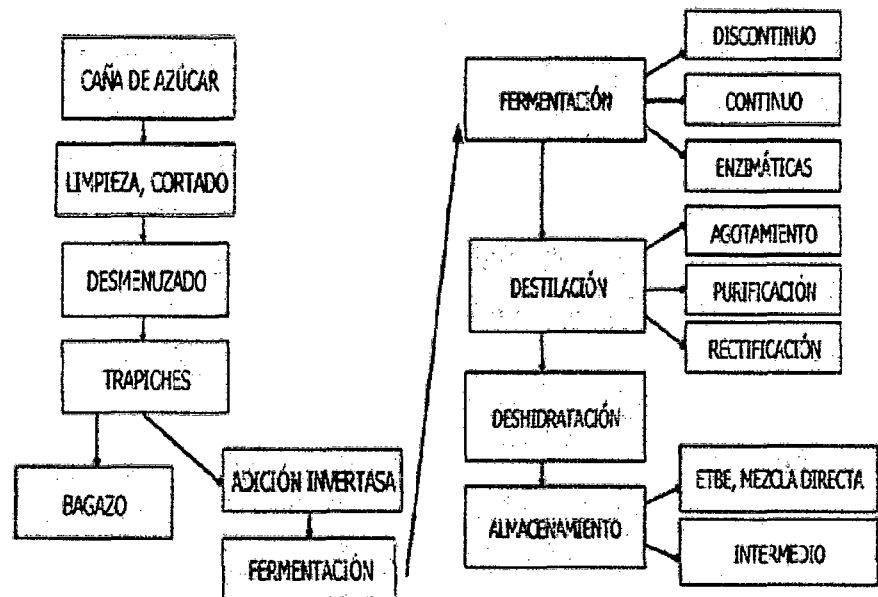
Existen algunos puntos por mejorar en la producción de Bioetanol a base de esta materia prima. Hasta el momento no se ha podido resolver satisfactoriamente el tratamiento de aguas residuales producidas por las plantas de etanol de yuca. Actualmente la producción que se obtiene es de 0,53 L etanol/Kg de yuca, teniendo una relación de energía entregada/energía utilizada

igual a 1,17. Los rendimientos potenciales se estiman de 20 a 30 toneladas por ha., con un contenido de almidón de hasta 35%, de modo que al considerar la eficiencia de fabricación agroindustrial en un 70%, se puede producir hasta 4,630 L de Bioetanol por ha.

**Bioetanol a partir de Sorgo dulce:** El sorgo dulce (*Sorghum bicolor*) es una planta bianual C4, un pasto de origen tropical, con un alto potencial para la producción de biomasa, debido a su eficiencia fotosintética. El grano de sorgo es rico en almidón y es uno de los cultivos óptimos para otras aplicaciones industriales. En el mundo se cultiva principalmente en áreas donde es escaso las precipitaciones y la temperatura son adversas para otros cultivos como el maíz. De este grano se pueden obtener producciones rentables, ya que se pueden obtener hasta 30 TM de materia seca por ha. Y en tal virtud, también hasta 13,000 L de Bioetanol por ha. (130 L por tonelada de sorgo) aprovechando las 13 toneladas de azúcar de sus jugos y las 10 toneladas de sus tallos y follajes. El jugo azucarado que se obtiene de la planta se fermenta en un tanque hasta convertirse en alcohol de bajo grado, que contiene demasiada agua para poder usarse como combustible. La mayor parte del agua se elimina en columnas de destilación. La última parte es más costosa. En la India operan plantas de tamaño comercial produciendo alcohol carburante de esta planta leguminosa. Se obtienen 0,14 L de etanol/Kg de sorgo dulce, siendo la relación energía entregada/energía utilizada igual a 2,14

**Bioetanol a partir de Caña de Azúcar:** La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es actualmente una de las materias primas más utilizadas para la producción de Bioetanol, es sembrada en países de clima cálido, siendo el Brasil el principal productor, ya que produce alrededor de 315 millones de TM y siendo por ende el mayor productor de Bioetanol en base a caña ya que usa 2/3 partes de sus producción para este fin. Además cuenta con cerca de 300 destilerías y más de 225 ingenios. Para la producción de Bioetanol a base de caña se puede utilizar el jugo azucarado (para la cual la caña es “molida” para

extraer dicho jugo) y también se puede usar los residuos de la industria azucarera (las melazas).



**Bioetanol a partir de Jugos Azucarados:** Para la producción de Bioetanol a partir de jugos azucarados de caña se realiza el siguiente procedimiento:

Se obtienen 0,085 L de etanol/Kg de azúcar, entonces, siendo el rendimiento agrícola de 120 TM/h, el rendimiento en alcohol será 84,4 L etanol/TM ó 10 140 L etanol/ha.

**Bioetanol a partir de Suero de Leche:** Un método adecuado para la producción de etanol a partir desuero de leche; Este proceso consiste en calentar el suero a ebullición, ajustando el pH a 5,0; separar las proteínas por filtración, enfriar el líquido claro a 34 °C, añadiendo 1,0 Kg de *Candida pseudotropicalis* por 1,000 L de suero y así efectuar la fermentación a 33 – 34 °C durante 48 a 72 h, separando al final la levadura y destilando el alcohol. La cantidad máxima de levadura requerida para el sembrado fue de 2% del peso de lactosa presente en el suero antes de la fermentación. Los rendimientos de etanol obtenidos fueron por término medio del 91,73% en escala de laboratorio y más bajos, del orden del 84% en condiciones semiindustriales. Subproductos de esta fermentación son las proteínas del suero y los líquidos residuales que se pueden desecar una vez se ha destilado el alcohol en solución ácida.

**Bioetanol a partir de cultivos celulósicos y lignocelulósicos:** Los residuos celulósicos y lignocelulósicos producidos por las industrias agrícolas, madereras, papeleras y hasta los RSU (Residuos Sólidos Urbanos) de origen vegetal, son potenciales fuentes de materia prima para la producción de Bioetanol. Entre sus cualidades está que son polímeros de glucosa, lo que quiere decir que si se logra disgregar o convertir a sus materiales primarios, sería una excelente fuente de azúcar para la fermentación alcohólica, además, estos son compuestos baratos y relativamente fáciles de conseguir, como el papel de desecho, desechos agrícolas (hojas, tallos, paja, bagazo), residuos madereros (virutas, aserrín). Como desventaja presenta que, como son compuestos complejos, de manera natural no se cuenta común microorganismo de uso industrial que pueda degradar de manera directa la celulosa glucosa y luego a etanol, por lo que se hace necesarios la intervención humana, a través de la hidrólisis ácida y otros procesos químicos que hagan accesible para el microorganismo los azúcares simples presentes dentro de la celulosa; este proceso genera un encarecimiento en la producción.

**Acondicionamiento de la materia prima:** Las celulosas no pueden ser fermentadas directamente, es necesario convertirla en azúcares más sencillos para su conversión en alcohol. La hidrólisis es un proceso químico que divide la molécula de celulosa por la acción de la molécula de agua. Las complejas estructuras de la celulosa (celulosa, hemicelulosa y lignina) son divididas en diferentes procesos para conseguir una solución azucarada, y eliminar productos de descomposición de los azúcares que pueden inhibir o, al menos, dificultar el proceso de fermentación. Principalmente se realizan procesos de hidrólisis de ácidos concentrados y bajas temperaturas, de ácidos diluidos y altas temperaturas y enzimáticos. **Hidrólisis con ácidos concentrados** En este proceso se añade entre 70 - 77% de ácido sulfúrico a la biomasa, que ha sido secada previamente hasta obtener una humedad menor del 10%. La proporción de ácido es de 1:25 por cada parte de biomasa y se mantiene a una temperatura controlada de 50 °C. Entonces se añade agua, para diluir el ácido a un 20-30% de la mezcla, aumentando su temperatura hasta los 100 °C. El gel producido en este proceso es prensado para obtener la mezcla de ácido y azúcar, que



finalmente son separados. Este es un proceso del que se obtiene rendimientos muy elevados pero a un coste igualmente muy elevado, por lo que industrialmente no se realiza.

**Hidrólisis con ácidos diluidos.** Es uno de los procesos de hidrólisis más antiguos, simples y eficientes para la producción del alcohol. El primer paso es mezclar una proporción de 0,7% de ácido sulfúrico con la hemicelulosa presente en la biomasa, para que se hidrolice a 190 °C. La segunda parte consiste en optimizar el rendimiento de la reacción con la parte de la celulosa más resistente, para ello se usa un 0,4% de ácido sulfúrico a 215°C. Finalmente los líquidos hidrolizados son neutralizados y recuperados, normalmente mediante percolación.

**Hidrólisis enzimática.** Consiste en “romper” (hidrolizar) la celulosa por la adición de determinadas enzimas. La celulosa es degradada por las celulasas a azúcares, que pueden ser fermentados por levaduras o bacterias para producir etanol. En síntesis, el proceso consiste en descomponer la celulosa y la hemicelulosa del residuo en azúcares sencillos y transformarlos en etanol por fermentación. En primer lugar se lleva a cabo un pretratamiento del residuo cuyo objetivo es alcanzar los mejores resultados en las etapas siguientes (hidrólisis y fermentación). Desde el punto de vista económico esta etapa es crítica, puesto que gran parte del coste total del proceso estaría en esta primera etapa. Como resultado del pretratamiento se obtiene una disolución de azúcares provenientes de la ruptura de la hemicelulosa y un residuo sólido (constituido principalmente por la celulosa del residuo original). La hidrólisis enzimática presenta ventajas frente a la hidrólisis química, como menores costes de equipamiento (debido a que se realiza a presión atmosférica y a temperatura próxima a la ambiental), mayores rendimientos y no necesita utilizar agentes químicos.

Hoy en día la búsqueda de alternativas de solución con la utilización de los recursos sin comprometer a las futuras generaciones se ha convertido en un reto para la ingeniería, de tal manera que para la humanidad es un desafío. De seguir así, el consumo desaforado de los combustibles fósiles, el futuro de la

humanidad y del planeta se prevé muchos impactos ambientales debido a la acelerada contaminación y los impactos que se ha generado en la capa de ozono por su combustión. Por lo planteado anteriormente esta investigación tiene como finalidad realizar la obtención de bioetanol de a partir de la cáscara de plátano verde y maduro mediante una técnica adecuada posterior fermentación anaeróbica, teniendo en cuenta las propiedades que posee este residuo y su alta producción en esta zona del Alto Mayo, como lo que se busca darle un valor agregado al uso de este producto agrícola.

### 1.3.2. Bases teóricas.

#### Plátano

##### ➤ Origen

El plátano tiene su origen probablemente en la región indomalaya donde han sido cultivados desde hace miles de años. Desde Indonesia se propagó hacia el sur y el oeste, alcanzando Hawaii y la Polinesia. Los comerciantes europeos llevaron noticias del árbol a Europa alrededor del siglo III a. C., aunque no fue introducido hasta el siglo X. De las plantaciones de África Occidental los colonizadores portugueses lo llevarían a Sudamérica en el siglo XVI, concretamente a Santo Domingo.

##### ➤ Taxonomía

Nombre Común: Plátano.

Nombre Científico: *Musa paradisiaca* L.

Familia: Musaceae.

Origen: Asia meridional.

Variedades: Seda (Cavendish valery y Gros michel), Bellaco, Inguiri, Isla, Biscochito y Capirona.

Periodo Vegetativo: De 300 a 360 días, según la variedad (Vida útil: 3 – 4 años).

**Figura N° 01:** Imagen sobre el plátano verde (izquierda) y plátano maduro (derecha)



**Fuente:** [www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tropicales/platano.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano.htm).

➤ **Descripción.**

Planta herbácea perenne gigante, con rizoma corto y tallo aparente, que resulta de la unión de las vainas foliares, cónico y de 3,5-7,5 m de altura, terminado en una corona de hojas.

**Hojas**

Muy grandes y dispuestas en forma de espiral, de 2-4 m. de largo y hasta de medio metro de ancho, con un peciolo de 1 m o más de longitud y limbo elíptico alargado, ligeramente decurrente hacia el peciolo, un poco ondulado y glabro.

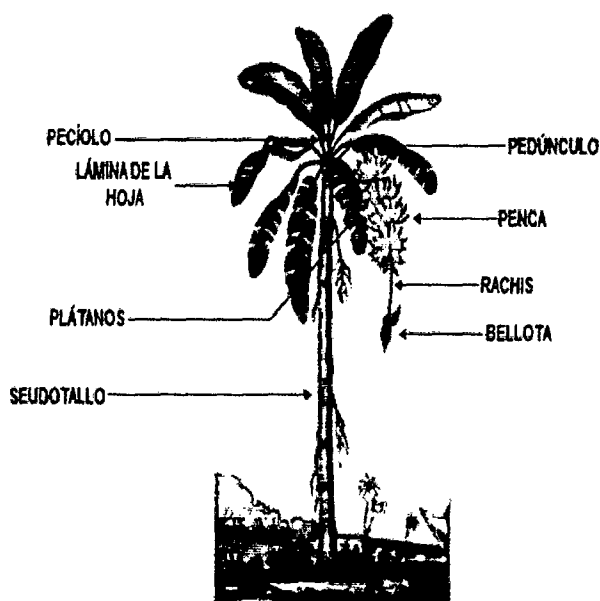
**Tallo**

El verdadero tallo es un rizoma grande, almidonoso, subterráneo, que está coronado con yemas; éstas se desarrollan una vez que la planta ha florecido y fructificado. A medida que cada chupón del rizoma alcanza la madurez, su yema terminal se convierte en una inflorescencia al ser empujada hacia arriba desde el interior del suelo por el alargamiento del tallo, hasta que emerge arriba del pseudotallo.

**Raíces**

Son superficiales distribuidas en una capa de 30-40 cm, concentrándose la mayoría a los 15 a 20cm. Son de color blanco y tiernas cuando emergen, posteriormente son duras, amarillentas. Pueden alcanzar los 3 m de crecimiento lateral y 1,5 m de profundidad. El poder de penetración de la raíz es débil, por lo que la distribución radicular está relacionada con la textura y estructura del suelo. (Herrera, 2011).

**Figura N° 02: Planta de plátano.**



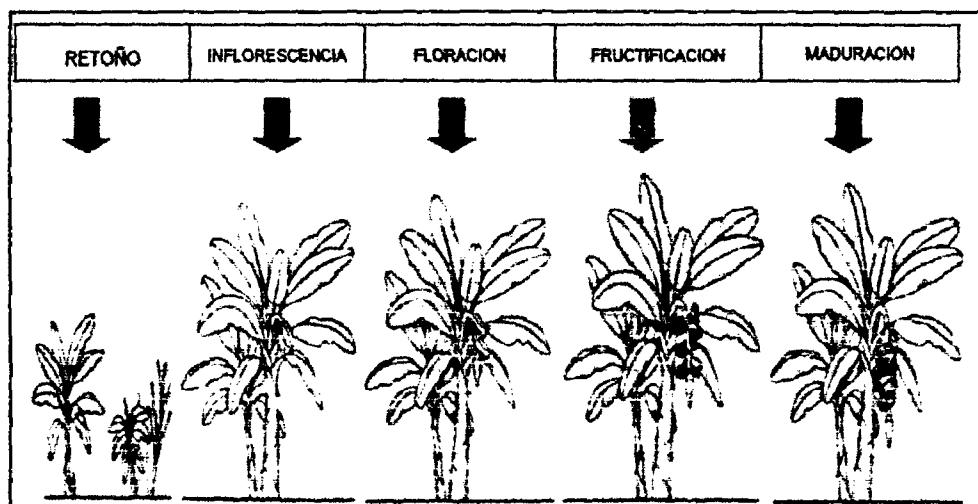
Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Musa\\_\(planta\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Musa_(planta)).

➤ **Zonas agroecológicas de producción**

Costa Norte: 16,54% - Piura y Tumbes.

Selva Baja: 49,8% - Loreto, San Martín, Ucayali y Madre de Dios. Selva Alta: 32,07% - Amazonas, Huánuco, Pasco, Cusco, Puno, Junín y Cajamarca. Otros: 1,59% (La Libertad, Ayacucho, Lima, Lambayeque, Ica y Ancash).

➤ **Ciclo Fenológico:**



Fuente: [www.senamhi.gob.pe](http://www.senamhi.gob.pe)



**Retoño:** El hijuelo aparece al lado del tallo principal y tiene cerca de 10 cm de longitud.



**Inflorescencia:** Momento en que la inflorescencia ha salido de la cobertura de la hoja superior



**Floración:** Se abren las primeras flores. En algunas variedades las flores están ocultas; en estos casos se omitirá el registro de esta fase



**Fructificación** Cuando aparecen los primeros frutos.



**Maduración** El primer fruto comienza a cambiar de color, en la mayoría de las variedades del verde oscuro al amarillo pálido

**Tabla N° 01:** Requerimientos Climáticos: Siembra, variedad: Cavendish Valery.

Meses		Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Estados Fenológicos	Ciclo Vegetativo			Crecimiento y desarrollo de hojas funcionales; del conmo, pseudotallo, raíces Etapa de formación de hojas funcionales Etapa de formación de retoños Inducción, diferenciación y crecimiento del tallo floral									
	Ciclo Reproductivo	Brotos (37 dds) Desarrollo de hojas funcionales		INFLORECENCIA (145 dds) Ahijamiento y desarrollo del pseudotallo		FLORACION (175 dds)			Fructificación (205 dds)		Maduración (250 dds)		Cosecha (300 dds)
Temperatura Óptima (°C)		22 - 24	25 - 30		25 - 30		25 - 30		25 - 30		25 - 30		22 - 24
Temperatura Crítica (°C)		< 15 a 35 >	< 15 a 35 >		< 15 a 35 >		< 15 a 35 >		< 15 a 35 >		< 15 a 35 >		< 15 a 35 >
Humedad óptima (%)		> 80	> 80		> 80		> 80		> 80		> 80		> 80
Déficit hídrico		Tolerante	Tolerante		Sensible		Sensible		Sensible		Sensible		Tolerante
Periodo Vegetativo		0	61		122		133		244		305		336
Periodo x Fase (días)		28	61		61		61		61		61		31

Fuente: Estación Malariares - 000208; Tipo: Convencional meteorológica. Latitud: 4° 51' 51". Longitud: 80° 44' 44".

Departamento: PIURA. Prov. Sullana. Dist. Marcavelica. (www.sullana.org.pe)

Elaboración: MINAG – DGCA – DIA.

La planta alcanza una altura de 2 m a 3 m y un fuste de unos 20 cm de diámetro. Los bananos son propios de regiones tropicales y subtropicales, y rara vez dan buenos resultados fuera de la banda comprendida entre los 30° N y 30° S. Algunos cultivos están adaptados a altitudes de hasta 2,300 msnm, pero la mayoría no prospera a más de 600 m de altitud.

La temperatura óptima para la floración ronda los 27 °C, y el crecimiento de los frutos se beneficia de una ligeramente superior. Por encima de los 37 °C las hojas padecen quemaduras y los frutos se deforman; por debajo de los 16 °C el ritmo de desarrollo se reduce sensiblemente, dando lugar a la aparición de una hoja por mes en lugar del período óptimo de una por semana. Por debajo de los 10 °C, la planta detiene su crecimiento por completo, y el desarrollo de los frutos se aborta. Aún breves accesos de frío pueden matar las inflorescencias, ocasionar la podredumbre de los frutos ya presentes o abortar su desarrollo, dando lugar a frutos pequeños, de color verde gris y sabor débil.

El régimen de lluvias debe ser constante, con unos 100 mm mensuales a lo largo del año (1,800 – 2,200 mm. de agua al año bien distribuidos para su desarrollo metabólico), y no más de tres meses de estación seca. ([www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tropicales/platano.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano.htm).)

➤ **Requerimiento de Suelos y Agua:**

Los bananos toleran bien una gran variedad de terrenos; crecen y fructifican en condiciones de bastante pobreza, aunque para que la producción sea económicamente rentable requieren suelos fértiles y húmedos, terrenos profundos, bien drenados, con la capa freática a no menos de dos metros de profundidad; para evitar el anegamiento de las raíces.

El cultivo del Plátano bajo condiciones de riego de inundación, especialmente en las zonas agrícolas de los valles de alto Piura y los valles de los ríos Tumbes y Zarumilla; consume entre 16,000 y 18,000 m<sup>3</sup>/ha. Así como también se está intentando realizar sistema de riego por goteo. ([www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tropicales/platano.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano.htm).)



El sistema radicular de la planta del plátano es adventicio. Está compuesto por un eje radicular el cual produce las raíces primarias, a partir de ellas se desarrollan las secundarias. Así también el pseudotallo está formado por vainas envolventes de las hojas. La principal función del pseudotallo es soportar el peso de las hojas y las inflorescencias. Por otro lado el fruto se caracteriza botánicamente como una cereza con pericarpio. El fruto se forma partiendo de los ovarios de las flores postiladas que muestran un gran aumento en volumen. La forma del fruto varía con el cultivar y el color es generalmente amarillo (Ortiz, 1999).

El plátano contiene una gran cantidad de taninos, teniendo estos taninos la función de prevenir el ataque de bacterias, hongos y herbívoros. Los taninos son los responsables del sabor amargo y astringente de la fruta verde, es de tres a cinco veces más abundante en la cáscara que en la pulpa del plátano químicamente se definen como sustancias fenólicas. En el plátano, el compuesto fenólico más abundante es la dopamina, (3-4 dihidroxifeniletilamina), el cual constituye el sustrato primario para el oscurecimiento enzimático. Cuando la cáscara de plátano maduro adquiere manchas color amarillo, la dopamina disminuye considerablemente. Durante la maduración del plátano, los taninos dejan de ser activos y pasan a ser ligados con la consecuente pérdida de astringencia (Zuñiga, 1993).

La producción mundial promedio de plátano es de 29.9 millones de toneladas anuales, generada principalmente en África con un 73.2% de la producción, mientras que en América se produce el 27.8% con un promedio de 7.1 millones de toneladas anuales.

**Tabla N° 02** producción de plátano a nivel mundial

Área Cosechada Mundial 2008-2010 En Hectárea				Producción Mundial de Plátano 2008-2010 (Toneladas)			
Pais	2008	2009	2010	Producto	2008	2009	2010
Mundo	5,335,035	5,375,515	5,395,405	Plátanos	55,987,005	56,819,005	56,561,551

Fuente: FAOSTAT

### **Producción Mundial del Plátano.**

De acuerdo con la FAO, la producción de plátano para el 2008 la superficie cultivada de plátano en el mundo fue de alrededor de 5,335,038 hectáreas, con una producción de 35,987,005 miles de toneladas. En el 2009 el área cosechada fue de 5,375,518 con una producción mundial de banano de 36,819,005 toneladas, en tanto que, para el 2010 el área cosechada fue de 5,395,408 hectáreas, con una producción de 36,561,851 toneladas.

**Tabla N° 03: Principales productores mundiales de plátano 2010, ( En tonelada)**

<b>País</b>	<b>2010</b>	
Uganda	9,550,000.00	F
Ghana	3,537,730.00	
Colombia	2,815,050.00	
Rwanda	2,749,150.00	
Nigeria	2,733,300.00	
Camerún	2,604,100.00	
Perú	2,007,280.00	
Côte d'Ivoire	1,541,570.00	
República Democrática del Congo	1,250,000.00	F
Kenya	791,570.00	
Myanmar	785,100.00	F
República Unida de Tanzania	660,000.00	F
Sri Lanka	572,420.00	
Ecuador	547,291.00	F
República Dominicana	491,509.00	F
Cuba	485,800.00	
Venezuela (República Bolivariana)	477,800.00	F
Guinea	461,700.00	F
Bolivia	338,901.00	F
Malawi	324,900.00	F
Gabón	296,900.00	
Haití	238,500.00	F
Guatemala	192,607.00	

Fuente: FAOSTAT  
F = Estimaciones FAO

**Tabla N° 04: Principales Países Exportadores de Plátano. 2005. En Porcentaje**

<b>País exportador</b>	<b>A nivel mundial</b>	<b>País exportador</b>	<b>A nivel de América</b>
Uganda	29	Colombia	22
Colombia	10	Ecuador	19
Ruanda	8	Guatemala	12
Ghana	7	Perú	5
Nigeria	6	Costa Rica	3,3
Perú	5	Otros	38,7
Congo	4		
Camerún	4		
Costa de Marfil	4		
Ecuador	3		
Resto	20		

Fuente: FAO, 2009.

En 1998 se cultivaron en Colombia 226.000 hectáreas, con una producción de 105.95 Tm de caña/Ha. es decir un total de 23.944.700 de Tm, debieron arrojar 9.577.88 Tm de bagazo. Para el caso del departamento del Tolima en 2006 se produjeron 101516,39 Tm de caña; es decir 40.6 Tm de bagazo. (**Corporacion C, 2006**).

### **1.3.2.1 Propiedades Funcionales del Plátano.**

La pulpa de plátano contiene diversas propiedades, como lo han demostrado estudios realizados sobre este. De manera general, la pulpa de plátano es una excelente fuente de potasio. El potasio se puede encontrar en una variedad de frutas, verduras o incluso carnes, sin embargo, un solo plátano puede proporcionar hasta el 23% de potasio que se necesita al día. El potasio beneficia a los músculos, ya que ayuda a mantener su buen funcionamiento y evita los espasmos musculares. Además, estudios recientes muestran que el potasio puede ayudar a disminuir la presión

arterial y también reduce el riesgo de accidentes cerebrovasculares. El plátano es rico en vitaminas A, B, C y D, dando beneficios especialmente a los huesos y músculos del cuerpo humano. Ya que uno solo de estos frutos contiene el 41% del requerimiento necesario de vitamina B al día, estudios recientes han comprobado que el consumo de plátano ayuda a mejorar el humor para personas con depresión y síndrome pre-menstrual debido a su alto contenido de vitaminas, específicamente la vitamina B ya que está integrada por las moléculas de piridoxal, piridoxina y piridoxamina las cuáles tienen un papel atenuante en el metabolismo de varios neurotransmisores (serotonina, norepinefrina, sistema colinérgico, dopamina y ácido y aminobutírico) cuya deficiencia permite el desarrollo de la depresión así como el síndrome premenstrual y el trastorno disfórico premenstrual. En estado inmaduro, el plátano posee una alta concentración de almidón (70%) a comparación de la fruta en estado maduro. Este almidón se degrada a una pequeña porción de monosacáridos mientras que el resto del almidón se degrada a sacarosa. El almidón es un polímero importante de origen natural con diversas aplicaciones en la ciencia de los alimentos y polímeros, la industria moderna de alimentos está aumentando la demanda del mismo por lo que se ha generado un interés por identificar nuevas fuentes de este polisacárido; de acuerdo a Bello-Pérez en 1999 se identificó hasta el 70% (base seca) de presencia de almidón en frutas en estado inmaduro o verde, específicamente en plátano y mango.

De acuerdo al estudio realizado por China et al en el año 2011 las flores también poseen una alta capacidad antioxidante y que pueden ser utilizadas como ingredientes con propiedades funcionales para la prevención del estrés oxidativo. Se han realizado estudios sobre la capacidad antioxidante del pseudotallo y rizoma de la platanera específicamente en la elaboración de bebidas a partir de ellos, en los cuales se pudo comprobar por diferentes métodos analíticos (Fenoles totales y

DPPH) que estos dos subproductos de la platanera pueden ser ocupados para generar nuevas bebidas funcionales. (Gómez, 2014).

#### **1.3.2.2 La Cáscara de Plátano.**

Es una materia prima apta para la obtención de bioetanol. Presenta un alto contenido de carbohidratos (aproximadamente 20% de su peso) aptos para procesos fermentativos encaminados a la producción de alcohol lo cual constituye una característica importante que converge con el hecho de que en el país se generan cada año aproximadamente 800 mil toneladas de cáscara plátano de y material lignocelulósico derivado del proceso (vástago y pseudotallo). Actualmente una tercera parte de la fruta que no se exporta (residuo) se destina al consumo interno, otra tercera parte se emplea como materia prima en la producción de fertilizantes orgánicos (compost) para el cultivo de la misma fruta, y una tercera parte continua considerándose como residuo. Son precisamente estos últimos dos tercios del residuo los que potencialmente se pueden usar en procesos de fermentación alcohólica (Sierra, 2007).

#### **1.3.2.3 Propiedades Funcionales de la Cáscara de Plátano.**

El principal subproducto del proceso industrial del plátano, es la cáscara la cual representa aproximadamente el 30% del peso del fruto; las aplicaciones potenciales para la cáscara de plátano dependen de su composición química. La cáscara de plátano es rica en fibra dietética, proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos poliinsaturados y potasio; entre los esfuerzos para utilizar la cáscara se han obtenido proteínas, metanol, etanol, pectinas y enzimas. Entre otros usos se ha obtenido carbón vegetal, una fuente de combustible alternativa para cocinar. la cáscara en conjunto con otras sustancias crea un ungüento para reducir los dolores causados por la artritis, además se considera que la cáscara de plátano puede ser una fuente potencial de sustancias antioxidantes y antimicrobianas, así como compuestos fitoquímicos con actividad contra radicales libres. Varios autores han analizado el efecto de los compuestos

antioxidantes presentes en cáscara de plátano, para identificar el efecto sobre los radicales libres los cuales se producen continuamente en nuestro organismo ya sea de manera natural o por el estrés ambiental, así como otros factores relacionados con muchas enfermedades como el cáncer, aterosclerosis, artritis, enfermedad de Parkinson y Alzheimer. (Sierra, 2007).

#### 1.3.2.4 Composición química de la cascara del plátano verde.

Los componentes químicos de cualquier fruta fluctúan de acuerdo con su variedad, estado de maduración y condiciones ambientales en que se desarrolle. Es imprescindible conocer la composición química, para contar con información confiable que permita estudiar con certeza el comportamiento químico y biológico de los procesos de producción de etanol a partir de esta fruta.

En este sentido realizaron análisis a la pulpa y cáscara de bananos verdes producidos en Mindanao (Filipinas) y encontraron que la primera contiene alrededor de 20% de almidón y la segunda 3,6% en base húmeda. Encontraron que los niveles de almidón en banano verde son del orden del 20%, y van disminuyendo hasta 1%-2% en banano completamente maduro, al mismo tiempo los azúcares solubles aumentan de 1% a 20%.

**Tabla N° 05:** Análisis del plátano verde: pulpa y cascara (% base humedad)

	Pulpa	cáscara	Plátano sin pelar
Proporción de peso	57,0	43,0	-
Humedad	73,3	91,0	81,0
Azucares reductores	1,6	2,4	1,9
Sacarosa	2,1	2,0	2,1
Polisacáridos fácilmente hidrolizables	26,6	6,64	17,9
Almidón	20,3	3,64	13,1

Fuente: Montes, (2004).

**Tabla N° 06:** Análisis bromatológico banano verde cavendish valery.

	Hincapié, A. F (2004)	Montes, N. (2004).
Humedad	80,90%	78,12%
Materia seca	19,10%	21,88%
Almidón	No disponible	57,45%
Cenizas	5,80%	No disponible
Extracto etéreo	1,73%	No disponible
Proteína bruta	5,87%	4,80%
Fibra cruda	4,20%	No disponible
Extracto libre de nitrógeno	82,40%	No disponible
Fósforo (P)	0,09%	No disponible
Calcio (Ca)	0,14%	0,15%
Potasio (K)	2,31%	2,41%
Sodio (Na)	No disponible	0,05%
Cinc (Zn)	27 ppm	No disponible

Fuente: Montes, (2004).

### **1.3.2.5 Usos de la cáscara de plátano.**

- **Producción de energía a través de la fermentación de la cáscara de plátano.**

El banano se coloca en un recipiente cualquiera, dependiendo de la cantidad que se va a dejar fermentar, luego se tapa y se deja fermentar hasta que se haya producido el ácido acético (vinagre) y poder realizar la conexión del circuito. Existe también otro método, el cual consiste en ubicar el plátano maduro en un costal durante ocho días, después de este tiempo suelta el ácido acético por la combinación de la cáscara plátano.

La cáscara de plátano verde o maduro se ha utilizado también para la alimentación animal. Por otro lado, se utiliza el raquis para la elaboración de abonos orgánicos. Sin embargo se deberían realizar estudios donde se desarrollen productos para la alimentación humana, debido sobre todo al aporte de fibra que estos materiales poseen. Es por ello que la presente investigación se centrará en la elaboración de diferentes surtidos a partir de los remanentes del plátano como una opción de alimento humano utilizando este producto como principal materia prima. (Martínez, 2003).

### **1.3.2.6 Importancia de los Remanentes del Plátano**

Estudios anteriores se confirman que el raquis del racimo del clon Dominico Hartón (Musa AAB Simmonds) y la cáscara de los frutos tienen mayor concentración de elementos minerales, azúcares totales y proteína bruta que la pulpa, lo cual indica que esos órganos poseen un gran potencial de uso como fuente de abono orgánico y como materia prima para la elaboración de alimentos para animales.

Raquis o pinzote es un material rico en fibra (8% de su peso). Actualmente 15% del raquis producido en la zona Caribe de Costa Rica es utilizado para elaborar fibra para papel. La cáscara del plátano maduro contiene



aproximadamente 2,7% de fructosa, 3,2% de glucosa y 7,8% de sacarosa en base seca (Zuñiga, 1993).

La fibra cruda en la cáscara de plátano maduro contiene 60% de lignina, 25% de celulosa y 15% de hemicelulosa (Sibaja, 1994).

#### 1.3.2.7 Remanentes de plátano.

En el caso de la cáscara de plátano verde y la cáscara de plátano maduro se aplicaron tratamientos con el objetivo de minimizar la oxidación, utilizando bisulfito de sodio y ácido cítrico. Las reacciones oxidativas, o pardeamiento enzimático según Badui (1988) causan el oscurecimiento aeróbico del alimento durante el daño físico del tejido. La enzima responsable del color café en frutas es la fenolasa, el plátano contiene esta enzima. El pardeamiento enzimático es un conjunto de reacciones entre el oxígeno y un sustrato fenólico y están catalizadas por polifenol-oxidasas (Fennema, 1993).

**Tabla N° 07:** Composición de los remanentes de cáscara de plátano verde y cáscara de plátano maduro.

Componentes	Cáscara de plátano verde	Cáscara de plátano maduro
% humedad	91,62	95,66
% proteína cruda	5,19	4,77
% fibra cruda	11,58	11,95
Energía bruta.kcal	4383	4592
% calcio	0,37	0,36
% fósforo	0,28	0,23
% cenizas	16,30	14,58

Fuente: Fennema, 1993.

### **1.3.2.8 Residuo**

Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento resultante del consumo o uso de un bien actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible al aprovechamiento o entrega y que es susceptible al aprovechamiento o transformación de un nuevo bien, con valor económico o de disposición final. Se dividen en aprovechables y no aprovechable.

❖ **Manejo de Residuos Sólidos:** Toda actividad técnica operativa de residuos sólidos que involucra manipuleo, acondicionamiento, transporte, transferencia, tratamiento, disposición final a cualquier otro procedimiento técnico operativo utilizado desde la generación hasta la disposición final.

El manejo de residuos sólidos en el Perú no solo es deficitario, sino también ineficiente. En la ciudad de Lima, solo los distritos que albergan a la población de mayores ingresos administran con cierta capacidad técnica los servicios de limpieza pública; en el resto de la ciudad estos servicios no se brindan, son atendidos de manera deficitaria o simplemente no son atendidos. (Garrigues, 2003).

#### **❖ Residuos agrícolas**

Los desechos sólidos son los residuos que se generan debido a las actividades humanas, los que generalmente se desechan como inútiles. Se obtienen como un subproducto de las actividades comerciales, industriales o agrícolas, y por lo general son una gran fuente de contaminación, por lo que actualmente se buscan alternativas de usos de estos residuos. En la industria agrícola es una de las principales fuentes de generación de residuos sólidos, los que están constituidos principalmente por los tallos, raíces, hojas u otras partes de las plantas que no son utilizadas en estos procesos.

Muchos de estos subproductos, provenientes del arroz, café, trigo, banano, caña de azúcar, cítricos, piña y yuca, son contaminantes, debido

a que no se le está dando un buen uso a través de técnicas adecuadas de manejo. Por mucho tiempo, en la explotación industrial del banano, la mayoría de los residuos de frutas no aprovechables han sido lanzados a las vías, laderas y ríos (Castro, 1974).

❖ **Manejo de los residuos de plátano.**

En el Ecuador se han realizado varios trabajos de investigación y adaptación de tecnologías para la utilización de residuos del cultivo del plátano, como es la producción de pre humus utilizando microorganismos y abono orgánico conocido como Bokashi, fermentado los residuos con microorganismos eficaces. Dado que la cáscara del plátano tiene alto contenido de almidón y celulosa, se le considera como una materia prima potencial para la industria del bioetanol. El proceso tradicional de producción de alcohol a partir de almidones y celulosa contempla procesos químicos o biológicos (hidrólisis) para su conversión a jarabes azucarados, que una vez acondicionados se someten a la acción de levaduras que efectúan la fermentación alcohólica. El etanol resultante es una mezcla de alcohol y agua (generalmente 5-15% v/v de etanol), estado que impide su utilización directa en motores.

Los residuos producidos por la industria de conservas vegetales, por su contenido en celulosa, pueden utilizarse como fuente de energía renovable, evitando así su acumulación. La fracción celulósica de los residuos, se transforman mediante hidrólisis en glucosa, que por fermentación se convierte en combustible (etanol) (Lázaro, 1994).

**Tabla N° 08:** Rendimientos promedio de etanol generados a partir de cada uno de los subproductos de acuerdo a diferentes estudios.

Materia prima	Cantidad de subproducto año		Rendimiento en Etanol
	Mundial (Tm)	Colombia (Tm)	
Cascarilla de arroz	134.000.000 (MADR y Agrocadenas, Arroz, 2005)	544.182 (MADR y Agrocadenas, Arroz, 2005)	0,25 L/Kg M.P. (Rojas y Cabanillas, 2008) 0,20 g/g (Saha y Corta, 2007)
Bagazo de Caña	2005 fue de 1.267 millones, Colombia 3% (FAO, 1993)	Producción de caña es 84.1 ton/Ha (FAO, 1993)	0,34 L/Kg M.P. (Forero, 2009)
Desechos cítricos (Bagazo y cascara)	25.559.918 (Maimma <i>et al.</i> , 2008)	76.250 (Maimma <i>et al.</i> , 2008)	0,16 L/Kg M.S. (Coll, 2008)
Subproductos de Plátano	6246 miles de Ton. (FAO, 1993)	Producción de plátano 53.674 (MADR y IICA, 2000)	

Fuente: Sánchez, 2010.

### Constituyentes de los residuos lignocelulósicos del plátano.

❖ **Celulosa.** La celulosa que es el biopolímero de D glucosa, es el material orgánico más abundante sobre la corteza terrestre. La celulosa es además la forma más común de encontrar el carbono de la biomasa.

Las plantas sintetizan la celulosa como material estructural para soportar su peso. Las moléculas largas de celulosa llamadas microfibrillas, forman haces por los puentes de hidrógeno que se crean entre los numerosos grupos OH de los anillos de glucosa.

En la celulosa las unidades de D glucosa están unidas por enlaces glicosídicos  $\beta$ -1,4, disposición bastante rígida y muy estable. (Espinosa, 2013).

❖ **Hemicelulosa.** En contraste con la celulosa, la cual es cristalina, fuerte y resistente a la hidrólisis, las hemicelulosas son estructuras aleatorias, amorfas con pequeña solidez, fácilmente hidrolizables en ácidos o bases diluidos. Las hemicelulosas son plímeros de diversas hexosas y pentosas, principalmente D-xilosa, L-arabinosa, D-manosa, D-glucosa, D-galactosa, y ácido D-galacturónico, que aparecen en las paredes celulares en forma amorfa. . (Espinoza, 2013)

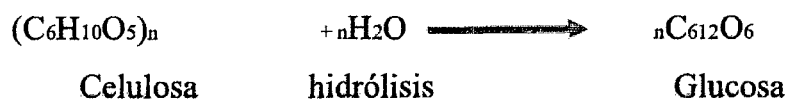
❖ **Lignina.** Es la tercera fracción mayoritaria de la biomasa lignocelulósica. Se trata de un polímero tridimensional amorfo formado por la polimerización deshidrogenativa unidades de fenilpropano ligadas por diferentes tipos de enlaces que se alternan de manera desordenada, es el polímero aromático no polisacárido más abundante de la naturaleza. Los monómeros que forman la lignina son los denominados alcoholes cinamílicos, diferenciados entre sí por las diferentes sustituciones que presenta el anillo aromático. Es un compuesto insoluble en agua y amorfo, de alto peso molecular, tridimensional. (Espinoza, 2013)

#### ❖ **Hidrólisis enzimática de residuos celulósicos**

La hidrólisis enzimática de la celulosa consiste en tres pasos: absorción de las enzimas celulasas en la superficie de la celulosa, la degradación de la celulosa a azúcares fermentables o glucosa y la desorción de las celulasas. La degradación enzimática de materiales celulósicos, es estimulada por la perspectiva de que esta investigación contribuiría al desarrollo en gran escala a procesos de conversión que beneficiarían a la humanidad en una forma sustancial. Algunos de estos procesos de conversión potenciales son:

- Ayudar a resolver problemas de eliminación de desechos.
- Disminuir la contaminación del medio ambiente.
- Aliviar la escases de alimentos y nutrientes para animales.
- Mejorar el manejo de bosques y tierras extensas, suministrando un mercado para maderas de baja calidad, que se desarrollan en tierras pobremente cultivadas
- Disminuir la dependencia del hombre hacia los combustibles fósiles, proveyendo un recurso conveniente y renovable de energía en forma de etanol. (Espinoza, 2013).

La sacarificación de los materiales celulósicos, utilizando las enzimas celulasas, no presentan el problema de la formación de productos indeseables como los que se presentan en las otras formas de hidrólisis (ácida, básica, etc.). En la actualidad los estudios de hidrólisis se están orientando a la utilización de enzimas para la sacarificación de subproductos celulósicos por las ventajas del proceso que ofrecen. La hidrólisis completa de la celulosa consiste en el rompimiento de los enlaces entre moléculas de glucosa, a cada unidad se añade una molécula de agua, produciéndose el azúcar glucosa. La reacción es:



#### 1.3.2.9 El Bioetanol

El bioetanol es un biocombustible obtenido por la fermentación de la materia orgánica y la biomasa rica en hidratos de carbono (azúcares). Las principales materias primas para producir bioetanol son cereales, orujo, alimentos ricos en almidón y cultivos de azúcar (por ejemplo, la caña de azúcar). Dependiendo de la materia prima utilizada para la producción del bioetanol también genera varios subproductos para la industria de la alimentación y la energía. El bioetanol está sujeto a una fuerte polémica: para unos se perfila como un recurso energético potencialmente sostenible que puede ofrecer ventajas medioambientales y económicas a largo plazo en contraposición a los combustibles fósiles, mientras que para otros es el responsable de grandes deforestaciones y del aumento del precio de los alimentos, al suplantarse selvas y terrenos agrícolas para su producción, dudando además de su rentabilidad energética.(Parragues, 2014).

El bioetanol obtenido por fermentación de materias primas que contienen hidratos de carbono, se adapta particularmente bien para sustituir a la gasolina en los motores de encendido por chispa. La producción de etanol

combustible a partir de material lignocelulósico se ha convertido en una alternativa interesante en la utilización de este tipo de residuos que podrían abrir nuevos merados para su revalorización. En la producción de bioetanol a partir de material lignocelulósico tienen lugar varios procesos físicos, químicos y biológicos como son: reducción de tamaño, remoción de lignina, hidrólisis ácida, fermentación y destilación (Teubner, 1999).

El etanol es una alternativa atractiva para las empresas que se encuentran en la rama químico industrial, médico-farmacéutico; así como los interesados en la producción de biocombustibles; debido a su alto desempeño en los motores de combustión interna.

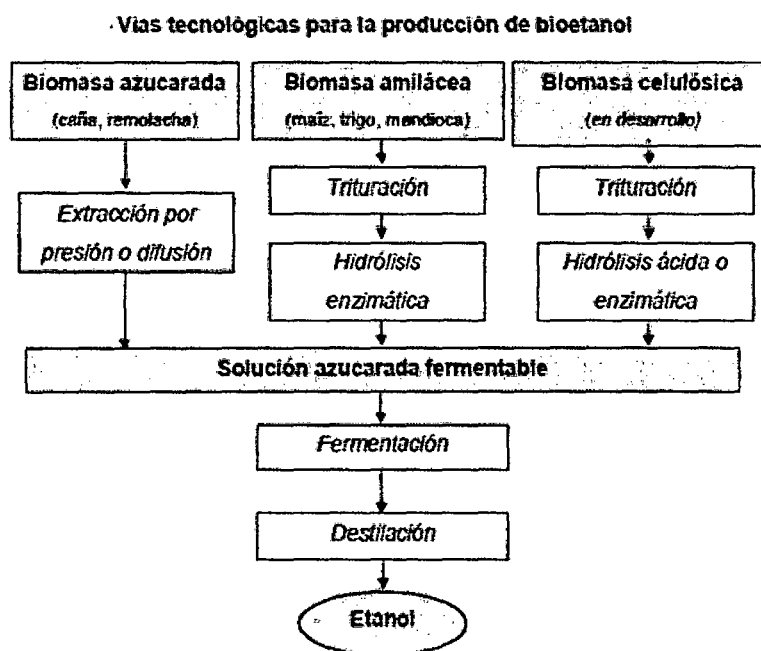
El bioetanol se produce por la fermentación de los azúcares contenidos en la materia orgánica de las plantas. En este proceso se obtiene el alcohol hidratado, con un contenido aproximado del 5% de agua, que tras ser deshidratado se puede utilizar como combustible. El bioetanol mezclado con la gasolina produce un biocombustibles de alto poder energético con características muy similares a la gasolina pero con una importante reducción de emisiones contaminantes en los motores tradicionales de la combustión. El etanol se usa en mezcla con la gasolina en concentraciones del 5 o el 10%, E5 y E10 respectivamente, que no requieren modificaciones en motores actuales. La fermentación alcohólica se lleva a cabo por numerosos microorganismos anaerobios o aerobios facultativos a partir de azúcares presentes en las distintas formas de biomasa. Estos azúcares se pueden encontrar en forma de polímeros: almidón y celulosa (Jiménez, 1989).

#### **1.3.2.10 Obtención de Bioetanol.**

La obtención de bioetanol se realiza mediante un proceso fermentativo en el cual se utilizan microorganismos capaces de convertir el azúcar en etanol. Usando levaduras *S. cerevisiae* para la producción de etanol en fermentaciones tradicionales en *batch*, la productividad está limitada entre

1,8 a 2,3 g/Lh, la cuales baja y resulta costosa para la producción de biocombustible. Sin embargo, el uso de fermentaciones en continuo puede duplicar dicha productividad.

La producción de bioetanol se realiza en bases comerciales y por dos vías tecnológicas, utilizando materias primas dulces, directamente fermentables, como la caña de azúcar y la remolacha azucarera, o materias primas amiláceas, como el maíz y el trigo, cuyo almidón debe ser convertido en azúcares (sacarificado) antes de la fermentación, y la otra utilizando la biomasa disponible en materiales como el bagazo y la paja, hidroliza las cadenas celulósicas y produce una solución fermentable de azúcares, presentando gran interés gracias al bajo costo de la materia prima. Con todo, esta vía de valorización energética de la biomasa aún no está disponible en escalas comerciales, aunque haya expectativas de que en los próximos años pueda alcanzar viabilidad económica. (Baptista, 2006).

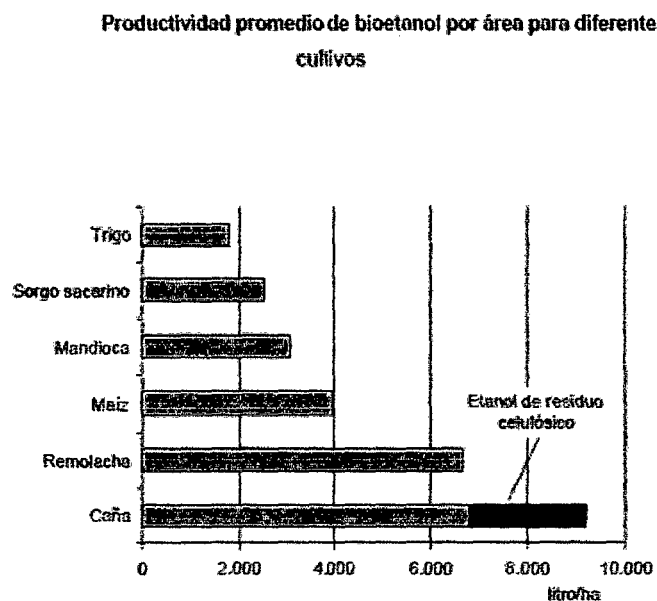


Fuente: Elaboración de Luiz Augusto Horta Nogueira.

En función de las diferencias en las productividades agrícola e industrial, los volúmenes de bioetanol producido por unidad de área cultivada varían bastante. En el caso de la caña de azúcar, son valores representativos una



productividad agrícola de 80 toneladas de caña de azúcar por hectárea y un rendimiento industrial de 85 litros de bioetanol, resultando en una producción de 6.800 litros de bioetanol por hectárea cultivada. Para la caña de azúcar, se considera además la producción de etanol de los residuos celulósicos, tecnología aún en desarrollo, asumiendo la utilización del 30% del bagazo disponible y mitad de la paja, convertida en bioetanol a razón de 400 litros por tonelada de biomasa celulósica seca. De los 51 mil millones de litros de bioetanol producidos en 2006, la producción norteamericana, a base de maíz, y la brasileña, a base de caña, representaron un 70% del total. Los otros grandes productores de bioetanol son India, China y la Unión 123 Europea, pero en escala mucho menor. (Horta, 2008).



Fuente: Modificado de GPC (2008).

#### 1.3.2.11 El Bioetanol como Biocombustible.

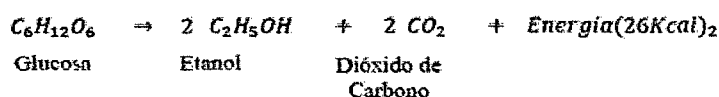
Bioetanol es un sustituto directo de combustible verde para la gasolina y se caracteriza por un índice de octano alto. Se puede utilizar en la gasolina a 20% sin cambiar el motor o motores utilizados. El bioetanol tiene un valor calorífico inferior que la gasolina derivada del petróleo. Se utiliza principalmente para aumentar el octanaje de la gasolina. El bioetanol

como combustible es particularmente común en Brasil, donde la mayoría de los vehículos en la carretera lo utilizan todos los días. Las posibilidades energéticas de bioetanol sin embargo no se limitan al sector del transporte, ya que se puede utilizar como combustible para la calefacción y el ámbito doméstico. (Espinoza, 2013)

### 1.3.2.12 Fermentación.

#### Conceptos.

❖ **Bioquímico.** Desde el punto de vista bioquímico, una fermentación se define como un proceso mediante el cual las sustancias orgánicas (sustrato) sufren una serie de cambios químicos (reducciones y oxidaciones) que producen energía: al finalizar la fermentación, se presenta una acumulación de varios productos, unos más oxidados (aceptaron electrones) y otros más reducidos (donaron electrones) que el sustrato, con un balance total de energía positivo. Esta energía es utilizada en el metabolismo de los microorganismos. Es importante mencionar que en el concepto bioquímico, no se consideran como fermentaciones los procesos en los que participa el oxígeno. Cuando el aceptor final de electrones es el oxígeno molecular y no una sustancia orgánica, el proceso se conoce como respiración. Ejemplo: La producción, a partir de glucosa, de etanol y dióxido de carbono:



Dióxido de Carbono

❖ **Microbiológico.** Desde el punto de vista microbiológico, se entiende por fermentación aquel proceso en el que los microorganismos producen metabolitos o biomasa, a partir de la utilización de sustancias orgánicas, en ausencia o presencia de oxígeno. La descomposición de los sustratos es llevada a cabo por enzimas producidas por los microorganismos para tal finalidad. Se debe observar que el concepto llega a excluir a los microorganismos del proceso, siempre y cuando estén presentes sus enzimas; sin embargo, en estos casos, la velocidad de obtención y los

rendimientos son menores. Ejemplo: la conversión de glucosa en presencia de oxígeno en dióxido de carbono y agua.

Un proceso de fermentación, visto como un todo, está compuesto por tres etapas:

- La preparación del inóculo.
- La selección del medio de cultivo.
- La producción de la biomasa o de los metabolitos de interés.

**Clasificación.** La gran cantidad de procesos y productos que involucra el término fermentación hace difícil no solo la definición del concepto, sino también su clasificación.

- ❖ **Los productos finales de la fermentación.** Desde el punto de vista comercial, las fermentaciones se pueden clasificar tomando en cuenta los productos que se obtendrán. Entre ellos, se puede mencionar:
  - Células microbianas (biomasa)
  - Metabolitos microbianos (enzimas, etanol, butanol, acetona, ácidos orgánicos, etc.).
- ❖ **El oxígeno en el proceso de fermentación.** También es posible clasificar las fermentaciones con base en la presencia o ausencia de oxígeno molecular durante el proceso. De acuerdo con esta división, los procesos se denominan:
  - ❖ **Fermentación aerobia.** El aceptor final de electrones es el oxígeno; es imprescindible su presencia para el desarrollo del microorganismo y la producción del compuesto deseado. En este tipo de procesos, se produce fundamentalmente biomasa, dióxido de carbono y agua.
  - ❖ **Fermentación anaerobia.** El proceso de producción del metabolito de interés se desarrolla en ausencia de oxígeno; los productos finales son sustancias orgánicas, por ejemplo, ácido láctico, ácido propiónico, ácido acético, butanol, etanol y acetona. Sin embargo, en la mayoría de las fermentaciones anaeróbicas, se requiere un poco de oxígeno al inicio del proceso para favorecer el crecimiento y la reproducción del microorganismo.

En los procesos anaerobios, los microorganismos producen mucho menos energía que en los aerobios y, para suplir sus necesidades de energía, metabolizan una mayor cantidad de azúcares; por consiguiente, elaboran más metabolitos.

Entonces, a través de la cantidad de oxígeno, se puede manipular un proceso de fermentación, para incrementar la producción de la sustancia de interés; por ejemplo, cuando se trabaja con un microorganismo facultativo (capaz de crecer en presencia o ausencia de oxígeno), como *Saccharomyces cerevisiae*, se obtienen diferentes productos mayoritarios, según la concentración de oxígeno en el medio: si es muy limitada, habrá una mayor producción de etanol, mientras que si es alta, se favorece la reproducción del microorganismo, o sea, la producción de biomasa.

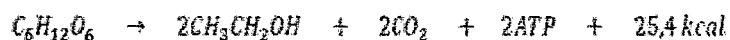
#### ❖ Fermentación Alcohólica.

La fermentación alcohólica (denominada también como fermentación del etanol o incluso fermentación etílica) es un proceso biológico de fermentación en plena ausencia de aire (oxígeno - O<sub>2</sub>), originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbono (por regla general azúcares: como pueden ser por ejemplo la glucosa, la fructosa, la sacarosa, el almidón, etc.) para obtener como productos finales: un alcohol en forma de etanol (cuya fórmula química es: CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-OH), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en forma de gas y unas moléculas de ATP que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico.

La fermentación alcohólica tiene como finalidad biológica proporcionar energía anaeróbica a los microorganismos unicelulares (levaduras) en ausencia de oxígeno para ellos.

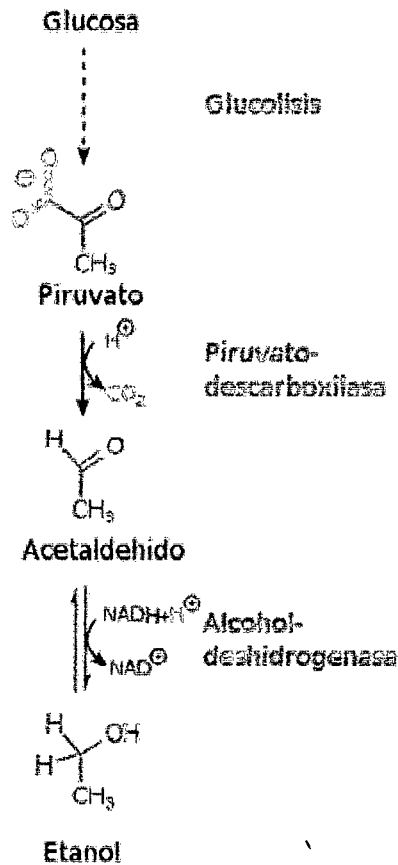
❖ **Mecanismo de Reacción y Balance Energético.** En el caso concreto de la fermentación alcohólica, al descomponerse la glucosa en alcohol etílico y dióxido de carbono, se desprende sólo un 7,33% de la energía susceptible de recuperación.

Desde el punto de vista energético este rendimiento es muy bajo, pero lo compensa el hecho de que estas cortas cantidades de energía representan un verdadero capital productivo. Gracias a las levaduras presentes en el mosto, los azúcares son transformados mediante un cierto número de etapas en etanol y anhídrido carbónico, según la ecuación de Gay-Lussac:



La fermentación alcohólica es una reacción exotérmica (la energía libre de Gibbs-entalpía libre, de la reacción de fermentación etílica muestra un valor de  $\Delta G$  de  $-234.6 \text{ kJ mol}^{-1}$  en un entorno de acidez neutra pH igual a 7) que va acompañada de la liberación de moléculas enegéticas (ATP), energía materialmente comprometida o puestas a disposición de las levaduras; se trata de energía en una forma, en una «moneda» que pueda «gastar» el organismo. Esta forma no es el calor, pues con calor nada puede hacer el organismo; el calor es la forma de energía realmente «libre», y el organismo «lo deja deslizarse entre los dedos», se desprende de él, lo irradia, como «excreción», como desecho, como una especie de sobrante de energía que se elimina lo mismo que las excreciones materiales. El ATP (trifosfato de adenosina), sin embargo, juega el papel de intermediario y sirve en todas partes para la acumulación de energía, pues para su formación se requiere relativamente poca energía. En otras palabras: si, por ejemplo, en el transcurso de una síntesis bioquímica de una sustancia importante para el organismo, debe superarse una etapa que solo es posible mediante el consumo de energía, entra en función el ATP, y entonces la etapa que requiere energía se “acopla” con la ruptura del ATP que lo suministra. Cada enlace energético en una molécula de ATP corresponde a unas  $10.000 \text{ cal/mol}$ . Las levaduras se sirven igualmente de las sustancias nitrogenadas (nitrógeno amoniacal y aminoácidos), presentes en el mosto, para la síntesis de sus proteínas. Se debe considerar que el etanol va aumentando de concentración durante el proceso de fermentación y

debido a que es un compuesto tóxico, cuando su concentración alcanza aproximadamente un 12% de volumen las levaduras se tienden a morir. Esta es una de las razones fundamentales por las que las bebidas alcohólicas (no destiladas) no alcanzan valores superiores a los 20% de concentración de etanol. (Espinosa, 2013)



### Mecanismo de Reacción Fermentación Alcohólica

- ❖ **Limitaciones del Proceso.** La determinación de los factores que limitan la glicólisis fermentativa del etanol son complejos debido a la interrelación existente y a la naturaleza de los parámetros intervinientes durante el proceso de fermentación. Algunos de ellos se deben tener en cuenta en la fermentación alcohólica industrial. En las limitaciones que surgen durante el proceso se pueden enumerar algunos de los más importantes como son:
- ❖ **Concentración de etanol resultante.** Una de las principales limitaciones del proceso, es la resistencia de las levaduras a las

concentraciones de etanol (alcohol) que se llegan a producir durante la fermentación, algunos microorganismos como el *saccharomyces cerevisiae* pueden llegar a soportar hasta el 20% de concentración en volumen.

- ❖ **Acidez del sustrato.** El pH es un factor limitante en el proceso de la fermentación ya que las levaduras se encuentran afectadas claramente por el ambiente, bien sea alcalino o ácido. Por regla general el funcionamiento de las levaduras está en un rango que va aproximadamente desde 3,5 a 6 pH. Los procesos industriales procuran mantener los niveles óptimos de acidez durante la fermentación usualmente mediante el empleo de disoluciones tampón. Los ácidos de algunas frutas (ácido tartárico, málico) limitan a veces este proceso.
- ❖ **Concentración de azúcares.** La concentración excesiva de hidratos de carbono en forma de monosacáridos y disacáridos puede frenar la actividad bacteriana. De la misma forma la baja concentración puede frenar el proceso. Las concentraciones límite dependen del tipo de azúcar así como de la levadura responsable de la fermentación.
- ❖ **La temperatura.** El proceso de fermentación es exotérmico, y las levaduras tienen un régimen de funcionamiento en unos rangos de temperatura óptimos, se debe entender además que las levaduras son seres mesófilos. Si se expone cualquier levadura a una temperatura cercana o superior a 55 °C por un tiempo de 5 minutos se produce su muerte. La mayoría cumple su misión a temperaturas de 30 °C.
- ❖ **Ritmo de crecimiento de las cepas.** Durante la fermentación las cepas crecen en número debido a las condiciones favorables que se presentan en el medio, esto hace que se incremente la concentración de levaduras.
- ❖ **Selección del microorganismo fermentador.** El éxito o fracaso de un proceso fermentativo comienza con el microorganismo utilizado, en la elección del mismo se deberían tener en cuenta ciertos criterios generales que se indican a continuación:
  - La cepa a utilizar debe ser genéticamente estable.
  - Su velocidad de crecimiento debería ser alta.

- La cepa debe estar libre de contaminantes, incluidos fagos.
- Sus requerimientos nutricionales deberían ser satisfechos a partir de medios de cultivo de costo reducido.
- Debe ser de fácil conservación por largos periodos de tiempo, sin pérdida de sus características particulares. Debería llevar a cabo el proceso fermentativo completo en un tiempo corto.

❖ *Saccharomyces Cerevisiae*. La levadura de cerveza *Saccharomyces cerevisiae* es un hongo unicelular, la ausencia de patogenicidad permite su manipulación con las mínimas precauciones.

Las utilidades industriales más importantes de esta levadura son la producción de cerveza, pan y vino, gracias a su capacidad de generar dióxido de carbono y etanol durante el proceso de fermentación.

Básicamente este proceso se lleva a cabo cuando esta levadura se encuentra en un medio muy rico en azúcares (como la D glucosa).

En condiciones de escasez de nutrientes, la levadura utiliza otras rutas metabólicas que le permiten obtener un mayor rendimiento energético, y por tanto no realiza la fermentación. (Espinoza, 2013)

#### 1.3.2.13 Industrialización del plátano

Existen algunas técnicas para el procesamiento del plátano verde, con el fin de obtener productos como:

- Polvo de banano
- Plátano deshidratado
- Jalea de banano
- Harinas para consumo humano

(Espinoza, 2013)

#### 1.3.2.14 El Bioetanol y el Medio Ambiente

El impacto ambiental de bioetanol es un tanto **controvertido**. Mientras que la combustión de etanol da como resultado en una menor emisión de CO<sub>2</sub> en comparación con la gasolina derivada del petróleo, el otro el bioetanol para ser producido implica el consumo de energía. Hay estudios



en curso para determinar el retorno de la energía de inversión (TRE) de bioetanol. Además, al igual que otros biocombustibles de primera generación pueden tener un impacto en el precio de los productos alimenticios y la deforestación.

Los materiales lignocelulósicos son los que ofrecen un mayor potencial para la producción de bioetanol. Una gran parte de los materiales con alto contenido en celulosa, susceptibles de ser utilizados para estos fines, se generan como residuos en los procesos productivos de los sectores agrícola, forestal e industrial. Los residuos agrícolas proceden de cultivos leñosos y herbáceos y, entre otros, hay que destacar los producidos en los cultivos de cereal. Por su parte, los residuos de origen forestal proceden de los tratamientos silvícola y de mejora o mantenimiento de los montes y masas forestales. También pueden utilizarse residuos generados en algunas industrias, como la papelera, la hortofrutícola o la fracción orgánica de residuos sólidos industriales. Muchos de estos residuos no sólo tienen valor económico en el contexto donde se generan sino que pueden ser causa de problemas ambientales durante su eliminación. Remueven toxinas. Investigaciones realizadas han demostrado que la cáscara del banano tienen una capacidad para absorber el plomo y el cobre de las aguas de río. Con anterioridad se había experimentado con otros materiales vegetales, tales como cáscaras de maní y fibras de coco, pero las cáscaras de plátano picadas reportaron mejores resultados.

**(Cabrera, 2006)**

Los investigadores también encontraron que las cáscaras picadas de plátano podrían ser utilizadas repetidamente para purificar el agua contaminada por las plantas industriales y explotaciones agrícolas-hasta once veces y ser aún efectivas. Según estudios "Cáscaras de plátano Aplicadas a la Fase Sólida de Extracción sólida del cobre y el plomo de Aguas del Río Pre-concentración de Iones Metálicos con Residuos de Fruta", también observaron el bajísimo costo de las cáscaras de plátano y

el hecho de que no hay necesidad de prepararlas químicamente para el procedimiento de purificación de agua.

En el caso de Colombia, las cifras Ambiental, Vivienda y Desarrollo Territorial indican que en un día el país produce 27 300 toneladas de basura de las cuales el 65% son residuos orgánicos. Por estas razones, se está impulsando el estudio de la producción de bioetanol de tercera generación, el cual es producido a partir de biomasa lignocelulosa residual, compuesta por dos polímeros de carbohidratos, la celulosa (35-50%) y la hemicelulosa (15-25%), y un polímero fenólico, la lignina (20-25%).

❖ **Ventajas del bioetanol**

Es una fuente renovable

Son más biodegradables que los combustibles fósiles

Son una alternativa para crear empleos

Reduce la dependencia del petróleo

❖ **Desventajas del bioetanol.**

Modificaciones en automóviles

Varias la mezcla de combustible

Balance energético

(Olsson, 1996).

La mayoría de los países de América Latina y el Caribe, la cantidad de materia orgánica presente en los residuos sólidos urbanos supera el 50% del total generado, Composición de los residuos sólidos. Municipales en diversos países de América Latina (porcentaje en peso). De los cuales aproximadamente el 2% recibe tratamiento adecuado para su aprovechamiento; el resto es confinado en vertederos o rellenos sanitarios; otro porcentaje es dispuesto inadecuadamente en botaderos o es destinado a la alimentación de cerdos, sin un debido control y procesamiento sanitario. (Dante, 2001).

La producción de banano de exportación (variedad *Cavendish valery*) desató un problema ambiental, dadas las exigencias en el control de

calidad que acarrearón rechazos de fruta entre 20% y 25% v/v. (Hincapié, 2004).

Los residuos de la cáscara de plátano han sido objeto de manipulación incontrolada, como la «...costumbre de disponerlos a cielo abierto y en botaderos no autorizados...» (Banatura, 2003).

La cáscara de plátano generan grandes problemas ambientales debido a la alta producción de plátano en Colombia que alcanza 3'379.742 toneladas (Sipsa, 2010)

La cáscara de plátano tiene una cantidad apreciable de almidón por lo que sería una buena fuente de azúcares para la fermentación, es decir, es una fuente potencial. (SENA, 2003)

Es evidente que, desde el inicio del problema ambiental causado por la cáscara de plátano, se han desarrollado diversas soluciones. Es así como «la fruta que no cumple con las exigencias de calidad, se destina esencialmente a abastecer la demanda nacional; en otros casos es una fuente importante de materia orgánica (compost) o alimento para ganado»

**Tabla N° 09 Producción de plátano, 2002**

<b>Producción por toneladas (2002-2007) Producto</b>	<b>Promedio</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
<b>Plátano</b>	<b>288,364.6</b>	<b>321,204.0</b>	<b>257,726.0</b>

Fuente: INEI, 2007.

Así mismo, existen tendencias en estudios recientes a desarrollar soluciones al problema ambiental desde el proceso (producción más limpia y eco eficiencia), encaminadas a disminuir el volumen del residuo. (Pasberg, 2002).

### 1.3.3. Definición de términos:

- **Aérobicos:** Son organismos que utilizan oxígeno ( $O_2$ ) en su metabolismo.
- **Almidón:** Sustancia blanca, inodora, insípida, granulada o en polvo, que abunda en otras feculentas, como la papa o los cereales; se emplea en la industria alimentaria, textil y papelera.
- **Anaeróbicos:** Son organismos que no utilizan oxígeno ( $O_2$ ) en su metabolismo, más exactamente que el aceptor final de electrones es otra sustancia diferente del oxígeno.
- **Azúcares reductores totales:** son aquellos azúcares que poseen su grupo aldehído CHO (grupo funcional) intacto, y que a través del mismo pueden reaccionar como reductores con otras moléculas.
- **Bioetanol:** Es un producto químico (alcohol) que se obtiene de la fermentación de azúcares que se encuentran en productos vegetales en condiciones anaeróbicas.
- **Biorreactor:** Es un recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo. En algunos casos, un biorreactor es un recipiente en el que se lleva a cabo un proceso bioquímico que involucra organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dichos organismos.
- **Cáscara de plátano:** Es un residuo compuesto por celulosa, almidones, vitaminas, minerales y antioxidantes que tiene diversos beneficios para la piel, el cuerpo y valores económicos.
- **Celulosa:** Es la biomolécula orgánica más abundante ya que forma la mayor parte de la biomasa terrestre. Sustancia sólida, blanca, amorfa, inodora y sin sabor, e insoluble en agua, alcohol y éter, que constituye la membrana celular de los vegetales; se emplea en la fabricación de papel, tejidos, explosivos, barnices, etc.
- **Cepa:** Es una variante fenotípica pura de una especie o, incluso, de un taxón inferior, usualmente propagada clonalmente, debido al interés en la conservación de sus cualidades definitorias.
- **Fermentación.** Proceso catabólico de oxidación incompleta, totalmente anaeróbica, siendo el producto final un compuesto orgánico.

- **Filtración:** Proceso mediante el cual un elemento es colocado a través de un tipo de tamiz o filtro por el cual se separan sus partes, quedando retenidas aquellas partes que no pasan por su tamaño y siendo filtradas aquellas que sí pasan por el espacio del filtro.
- **Hidrólisis enzimática:** Es un proceso degradativo, mediante un grupo de enzimas llamadas hidrolasas, donde se produce la ruptura de enlaces.
- **Hidrólisis:** Es una reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química. Esta reacción es importante por el gran número de contextos en los que el agua actúa como disolvente.
- **Inóculo:** Sustancia que se introduce en el organismo para producir o aumentar su inmunidad frente a determinada enfermedad o proceso. Puede ser una toxina, un virus o una bacteria, muertos o atenuados, o un suero inmune.
- **Lignina:** Sustancia natural que forma parte de la pared celular de muchas células vegetales, a las cuales da dureza y resistencia.
- **Lignocelulosa:** Es el principal componente de la pared celular de las plantas y más abundante componente de la biomasa producida por la fotosíntesis. Está constituida por tres polímeros estructurales: lignina, celulosa y hemicelulosa. Las propiedades químicas de sus componentes hacen de ella un substrato de enorme valor biotecnológico
- **PH:** Concentración de iones hidrógeno eficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.
- **Polímero:** Compuesto químico que resulta de un proceso de polimerización. Las proteínas, el almidón o el caucho natural son polímeros sintetizados por los seres vivos"
- **Remanente:** (parte de una cosa) que queda o se reserva para algo.
- **Resíduo:** Son todos aquellos restos y sobrantes que quedan del consumo que el ser humano hace de manera cotidiana.
- **Residuos celulósicos:** Es la materia prima química, constituidos por azúcares hexosas y pentosas. Se encuentran en la biomasa vegetal y permiten

la obtención de productos sustentables y no contaminantes del medio ambiente, entre los que destaca el etanol.

- **Sacarosa:** Disacárido de sabor dulce, que se encuentra en el jugo de muchas plantas y se extrae especialmente de la caña dulce y de la remolacha; se emplea en alimentación como edulcorante nutritivo y sus ésteres como aditivos.
- ***Saccharomyces cerevisiae*:** Es un hongo unicelular, un tipo de levadura utilizado industrialmente en la fabricación de pan, cerveza y vino, conocida comúnmente como levadura de cerveza.

#### **1.4. Sistema de Variables:**

##### **1.4.1. Variable dependiente:**

Porcentaje de bioetanol a partir de la concentración de los azúcares reductores totales.

##### **1.4.2. Variable independiente:**

Concentración de azúcares reductores totales de la cáscara de plátano verde y maduro.

#### **1.5. Hipótesis:**

##### **1.5.1. Hipótesis Alterna**

A partir de los azúcares reductores totales se puede obtener alrededor de un 3,2 % de bioetanol.

##### **1.5.2. Hipótesis Nula**

A partir de los azúcares reductores totales no se puede obtener alrededor de un 3,2 % de bioetanol.

## **CAPITULO II**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **2.1 Tipo de Investigación:**

##### **2.1.1. De acuerdo a la orientación:**

Aplicada

##### **2.1.2. De acuerdo a la técnica de contratación:**

Experimental

#### **2.2 Diseño de Investigación:**

En la investigación se usó el diseño en bloques completos al azar (DBCA), considerando como tratamientos:

##### **Cáscara Verde:**

- T<sub>1</sub>** : Tratamiento con  $160\text{mg/L} \cdot 0.7\text{L} = 112\text{ml}$  + 588 ml de agua destilada + 1 gr de levadura
- T<sub>2</sub>** : Tratamiento con  $150\text{mg/L} \cdot 0.7\text{L} = 105\text{ml}$  + 595 ml de agua destilada + 1 gr de levadura
- T<sub>3</sub>** : Tratamiento con  $140\text{mg/L} \cdot 0.7\text{L} = 98\text{ml}$  + 602 ml de agua destilada + 1 gr de levadura.
- T<sub>4</sub>** : Tratamiento con  $130\text{mg/L} \cdot 0.7\text{L} = 91\text{ml}$  + 609 ml de agua destilada + 1 gr de levadura
- T<sub>5</sub>** : Tratamiento con  $120\text{mg/L} \cdot 0.7\text{L} = 84\text{ml}$  + 616 ml de agua destilada + 1 gr de levadura.

##### **Cáscara Maduro:**

- T<sub>1</sub>** : Tratamiento con  $170\text{mg/L} \cdot 0.7\text{L} = 119\text{ml}$  + 581 ml de agua destilada + 1 gr de levadura.
- T<sub>2</sub>** : Tratamiento con  $160\text{mg/L} \cdot 0.7\text{L} = 112\text{ml}$  + 588 ml de agua destilada + 1 gr de levadura.



- T<sub>3</sub>** : Tratamiento con  $150\text{mg/L} \cdot 0.7\text{L} = 105\text{ml} + 595\text{ ml}$  de agua destilada + 1gr de levadura.
- T<sub>4</sub>** : Tratamiento con  $140\text{mg/L} \cdot 0.7\text{L} = 98\text{ml} + 602\text{ ml}$  de agua destilada + 1gr de levadura.
- T<sub>5</sub>** : Tratamiento con  $130\text{mg/L} \cdot 0.7\text{L} = 91\text{ml} + 609\text{ ml}$  de agua destilada + 1gr de levadura.

Asimismo, dada la naturaleza del experimento, se estimó conveniente realizar las mediciones cada cierto tiempo. Para controlar el efecto que el tiempo puede tener en los tratamientos se decidió diseñar bloques:

- Bloque I : Medición al tercer día
- Bloque II : Medición al sexto día
- Bloque III : Medición al noveno día
- Bloque IV : Medición al onceavo día
- Bloque V : Medición al quinceavo día

Con estas condiciones, el modelo del diseño quedó de la siguiente manera:

$$X_{ij} = \mu + B_j + T_i + E_{ij}$$

**Dónde:**

$X_{ij}$  = Cualquier observación o evaluación

$\mu$  = Media General

$B_j$  = Efecto de bloques

$T_i$  = Efecto de Tratamiento

$E_{ij}$  = Efecto del error experimental

## **2.3 Población y Muestra:**

### **2.3.1 Población:**

Estuvo conformada por 100 kg/día por la cáscara de plátano verde y 100 kg de cáscara de plátano maduro aproximadamente, del mercado Ayaymama de la ciudad de Moyobamba.

### **2.3.2 Muestra:**

Estuvo conformada por 10 kg de cáscara de plátano maduro y 10 kg de cáscara de plátano verde, dado que son razones aceptables para este trabajo de investigación.

## **2.4 Técnicas e instrumentos de Recolección de datos.**

**La metodología del presente proyecto de investigación, se desarrolló de manera experimental con trabajos que se realizó a nivel de laboratorio, para lo cual se especifica las siguientes actividades.**

### **Material De Estudio.**

#### **Material biológico.**

Cultivo de la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). Azúcares reductores totales extraídos de Cáscara de plátano.

#### **Biorreactores para cultivo Batch.**

Se empleó 05 biorreactores de 01 L de capacidad, con 16 cm de altura, 10 cm de diámetro y 10 cm de base. Adaptando una tapa a presión; cada reactor contendrá las fuentes de carbono y nitrógeno. Así mismo se consideró todos los componentes del biorreactor previamente esterilizados. Se incubó en condiciones anaeróbicas a  $25^{\circ}\text{C} \pm 3$ . (León, 2004).

#### **Obtención de bioetanol a partir de los ART del residuo de la cáscara de plátano del mercado Ayaymama en la ciudad de Moyobamba.**

La obtención de bioetanol a partir de los ART de la cáscara de plátano se llevó a cabo utilizando la técnica de extracción por acción físico (calor, humedad y presión) por ser la

adecuada en la obtención de estos azúcares disminuyendo la contaminación por químicos (Bardalez, 2009).

#### **Determinación de la concentración de azúcares reductores totales**

La determinación se llevó a cabo por el método de Folin and Wu (Folin and Wu, 1920); y dichas concentraciones serán diluidas con agua destilada preparándose las concentraciones siguientes: 5, 10, 15, 20, 25 g/L ; dependiendo de la concentración máxima extraída. Las mismas que constituirán el caldo fermentativo (Bailón, 2001).

#### **Activación y Preparación del inóculo**

A partir de la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) mantenida en refrigeración, se realizó un sembrado en el medio de mantenimiento y se incubó por un periodo de 72 horas en condiciones anaeróbicas, las levaduras (comercial) de *Saccharomyces cerevisiae* se activaron en agua destilada a una temperatura de 25°C colocando 1 gr de levadura en 100ml dejándole en reposo por 5 min. (Gómez, 1999)

#### **Proceso de producción de bioetanol (fermentación)**

Una vez agregado los inóculos y sustrato dentro de cada biorreactor, los cuales contendrán un total de 0,7 L con azúcares reductores total de cáscara de plátano previamente tratada y diluida a las siguientes concentraciones: 5, 10, 15, 20, 25 g/l y Se dejó la muestra en proceso de fermentación anaeróbica por un periodo de 72 horas, a temperatura ambiente (25±3°C) El proceso se realizará a un pH de 4. (León, 2004)

#### **Determinación del porcentaje de bioetanol de la muestra.**

Después del proceso de fermentación, se tomó una probeta graduada de 100 ml de cultivo de cada biorreactor, luego se lo introdujo a este recipiente un alcoholímetro el cual indicará el porcentaje de bioetanol presente en la muestra evaluada.

#### **Ploteo de la curva de producción de etanol.**

Con los datos obtenidos del porcentaje de bioetanol a diferentes intervalos de tiempo se procedió a graficar la curva de rendimiento y producción.

## 2.5 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

### Análisis Estadístico.

Los resultados de la “obtención de bioetanol a partir de la “cáscara de plátano” se obtuvo por evaluación estadísticamente mediante medidas de distribución central: promedio, y medidas de dispersión (desviación estándar). El estudio comparativo se realizó mediante el análisis de varianza (ANVA). Además de esta manera se evaluó si existen diferencias significativas durante los procesos de obtención de etanol, en caso de que exista significancia se aplicó la prueba estadística de **DUNCAN al 5 %**, con **95% de confianza**, teniendo en cuenta que se utilizó el **diseño de bloques completamente aleatorizado (DBCA)**. (Freese, F 1998).

Dado que el supuesto básico de la investigación, bajo el experimento en DBCA, está orientado a determinar la cantidad de concentraciones de azúcares reductores totales para la obtención de bioetanol, a partir de la cáscara de plátano, para lo cual asumimos el siguiente tratamiento estadístico:

Se hizo uso del análisis de varianza para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos y entre los bloques:

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	VALOR F CALCULADO	VALOR F TABULADO
Tratamiento	GLT	SCT	CMT	FCT	FTT
Bloques	GLB	SCB	CMB	FCB	FTB
Error	GLE	SCE	CME		
Total	GLTotal				

La decisión respecto a las diferencias significativas se tomó de acuerdo a los siguientes criterios:

Si  $F_c > F_t$ , entonces existen diferencias significativas entre los tratamientos o bloques, según sea el caso.

Si  $F_c < F_t$ , entonces no existen diferencias significativas entre los tratamientos o bloques, según sea el caso.

- Mediante la prueba de Duncan, con un nivel de confianza del 95% se determinó el tratamiento óptimo. Previamente se determinó la desviación estándar de los promedios y las amplitudes estudiantizadas significativas (AES).

$$S_x = \sqrt{\frac{CME}{r}}$$

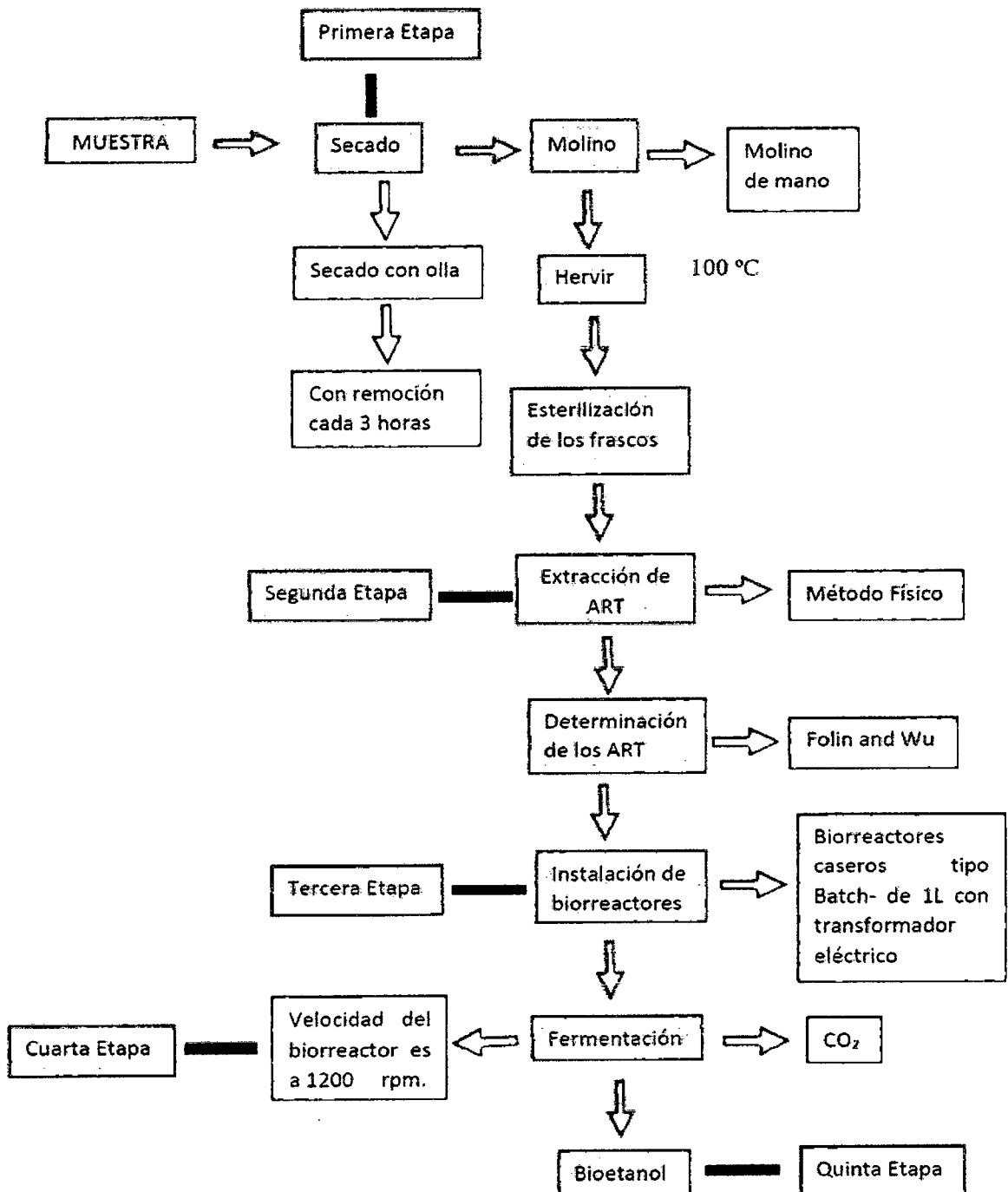
<b>AES</b>	<b>3.93</b>	<b>4.01</b>
<b>Sx=</b>		
<b>ALS</b>		

- El procesamiento de los datos se realizó en forma electrónica, haciendo uso del software estadístico MINITAB.

## CAPITULO III

### 3.1 RESULTADOS.

#### 3.1.1 Protocolo para la obtención de bioetanol a partir de los ART del residuo de la cáscara de plátano.



## **PROCESO PARA 10 KG DE MUESTRA (CÁSCARA VERDE Y CÁSCARA MADURO).**

### **Primera Etapa: Preparación de la muestra.**

- **Picado:** se pica 10 kg de la muestra.
- **Secado:** se seca a una temperatura de 105° C y remover cada tres horas.
- **Molido:** se muele la muestra a 0.5 mm.
- **Hervido:** hervir 200gr de la muestra en 2 L de agua destilada por un espacio de una hora.
- **Esterilización:** se esteriliza los frascos de vidrio durante 30 minutos a una temperatura de 150° C.
- **Llenado de frascos:** llenar los frascos de la muestra hervida a 500 ml.

### **Segunda Etapa: Extracción de los Azúcares Reductores Totales.**

- **Método Físico (Autoclave):** colocar en la autoclave la muestra a 121°c por 1 atm, durante 15 minutos; para separar los azúcares reductores totales de la lignina y la celulosa.

### **Determinación de los Azúcares Reductores Totales (ART) – Método Folin and Wu**

Para determinar la máxima concentración de azúcares por 700 ml de la muestra se necesita conocer el factor. Para lo cual se realiza los siguientes pasos:

- En un tubo de ensayo, colocar 1ml de estándar de glucosa (100mg/l) y 9 ml de agua destilada.
- Adicionar 1 ml de solución de ácido sulfúrico a 2/3 N
- Agitar la solución por un tiempo de 1 minuto
- Agregar 01 ml de trifosfato de sodio a 10%
- Agitar la muestra fuertemente por un tiempo de 2 minutos.
- Hervir la solución por un tiempo de 8 minutos.
- Enfriar y agregar 1ml de la solución fosfomolibdica.
- Leer la absorbancia de la muestra en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 420nm.

El factor se obtuvo aplicando la siguiente formula:

$$F = \frac{(Eg)}{As}$$

**Donde:**

F: Factor

Eg = Concentración de estándar de glucosa

As = Absorbancia de la solución con estándares de glucosa.

Para determinar la máxima concentración de azúcares por litro, llevar a cabo la muestra al método de Folin and Wu (Folin and Wu, 1920), realizando el siguiente procedimiento.

- En un tubo de ensayo, se coloca 1ml de solución concentrada de azúcares y 9ml de agua destilada
- Adicionar 1ml de solución ácido sulfúrico de 2/3 N.
- Agitar la solución por un espacio de 1 minuto.
- Agregar 1ml de tungstato de sodio al 10%
- Agitar fuertemente por un tiempo de 2 minutos
- Adicionar 1ml de la solución cúprica alcalina.
- Hervir la muestra por un tiempo de 8 minutos
- Filtrar la muestra
- Enfriar y agregar 1ml de solución fosfomolibdica.
- Leer la absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 420nm.

**Tercera Etapa:** Instalación de los Biorreactores caseros.

- **Configuración del biorreactor:** biorreactores con tanque agitado.
- **Tamaño del biorreactor:** Alcanzar la velocidad de producción deseada y de 01 L de capacidad, con 16 cm de altura, 10 cm de diámetro y 10 cm de base.
- Adaptar una tapa a presión; cada biorreactor contendrá las fuentes de carbono y nitrógeno.



- Considerar la esterilización de los biorreactores a 150 °C.
- Incubar en condiciones anaeróbicas a 22 a 28°C

#### **Cuarto Etapa: Fermentación.**

- Agregar 1 gr. levadura a cada biorreactor.
- Agregar los azúcares reductores total de la muestra previamente tratada y diluida.
- Aflorar a 0,7 L cada biorreactor (ART y agua destilada).
- Dejar la muestra en proceso de fermentación anaeróbica en un espacio de tres, seis, nueve y quince días.
- Medir el pH.
- Agitar a 1 200 rpm por 15 minutos por día.

#### **Quinta Etapa: Medición de porcentaje de Bioetanol.**

- Utilizar un alcoholímetro para obtener el porcentaje de bioetanol.

**Presentar los datos de obtención de bioetanol a partir de los azúcares reductores totales del residuo de la cáscara de plátano en base a 1 L**

- En base a 1000ml.  $\Rightarrow$  1 L  

$$\begin{array}{ccc} 3,4 \% \text{ de bioetanol} & \Rightarrow & 700\text{ml} \\ X & \Rightarrow & 1000\text{ml} \end{array}$$

**X = 4,9 % de bioetanol de cáscara verde**

**Nota: Se trabajó con 700 ml, debido a que los biorreactores fueron de 1000 mL de capacidad, pero todo biorreactor trabaja máximo al 70 % de su capacidad. En ese sentido para expresar los resultados en base a 1000 mL se utilizó una regla de tres simple.**

- En base a 1000ml.  $\Rightarrow$  1 L

$$\begin{array}{ccc} 3\% \text{ de bioetanol} & \Rightarrow & 700\text{ml} \\ X & \Rightarrow & 1000\text{ml} \end{array}$$

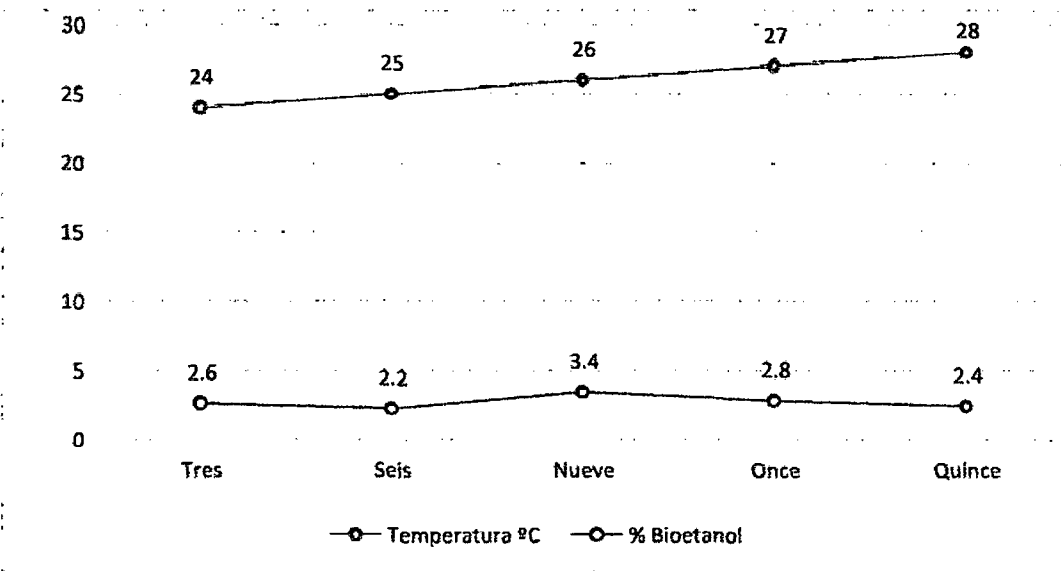
**X = 4,3% de bioetanol de cáscara maduro.**

### 3.1.2 Parámetros que influyen en la obtención de bioetanol :

CUADRO N° 01 Evaluación de la Temperatura durante el proceso de obtención de bioetanol a partir de los ART de la cáscara de plátano verde.

Tratamientos	Temperatura °C	% Bioetanol
T <sub>1</sub>	24	2.6
T <sub>2</sub>	25	2.2
T <sub>3</sub>	26	3.4
T <sub>4</sub>	27	2.8
T <sub>5</sub>	28	2.4

GRÁFICO N° 01 Evaluación de la Temperatura durante el proceso de obtención de bioetanol a partir de los ART de la cáscara de plátano verde.



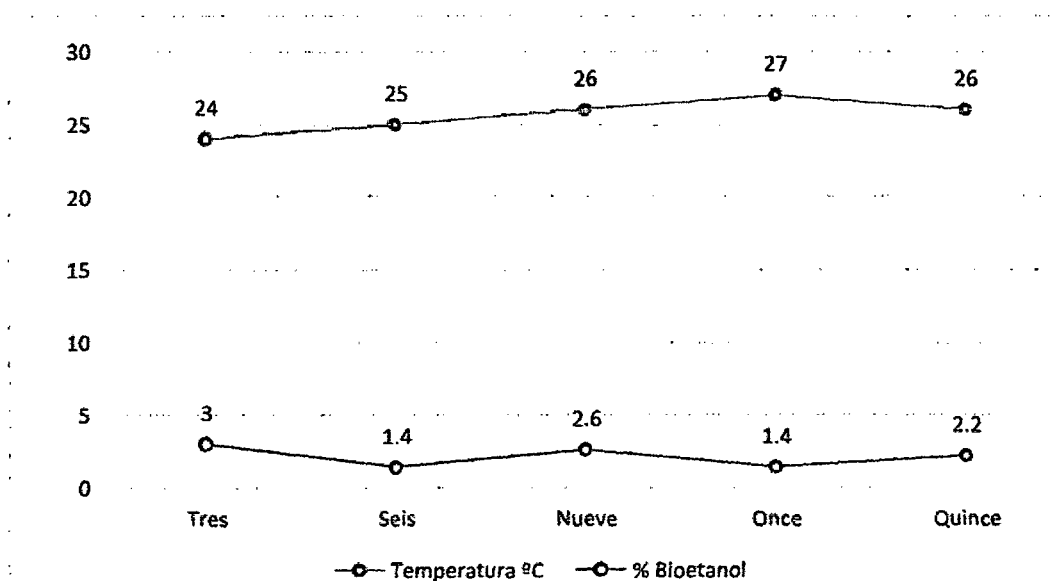
#### Interpretación:

El cuadro N° 01 muestra el porcentaje de bioetanol obtenido a partir de los ART de la cáscara de plátano verde, a diferentes temperaturas. Según los resultados, el mayor porcentaje de bioetanol se obtiene con el tratamiento 3 (140 ml \* 0.7 L = 98 ml + 602 ml de agua destilada + 1 gr. de levadura). Asimismo observamos que no existe ninguna relación directa entre la temperatura y el porcentaje de bioetanol por lo que no se puede establecer una regla de correspondencia, se puede concluir que la temperatura ideal es 26 °C.

CUADRO N° 02 Evaluación de la Temperatura durante el proceso de obtención de bioetanol a partir de los ART de la cáscara de plátano maduro.

Tratamientos	Temperatura °C	% Bioetanol
T <sub>1</sub>	24	3.0
T <sub>2</sub>	25	1.4
T <sub>3</sub>	26	2.6
T <sub>4</sub>	27	1.4
T <sub>5</sub>	26	2.2

GRÁFICO N° 02 Evaluación de la Temperatura durante el proceso obtención de bioetanol a partir de los ART de la cáscara de plátano maduro.



### Interpretación:

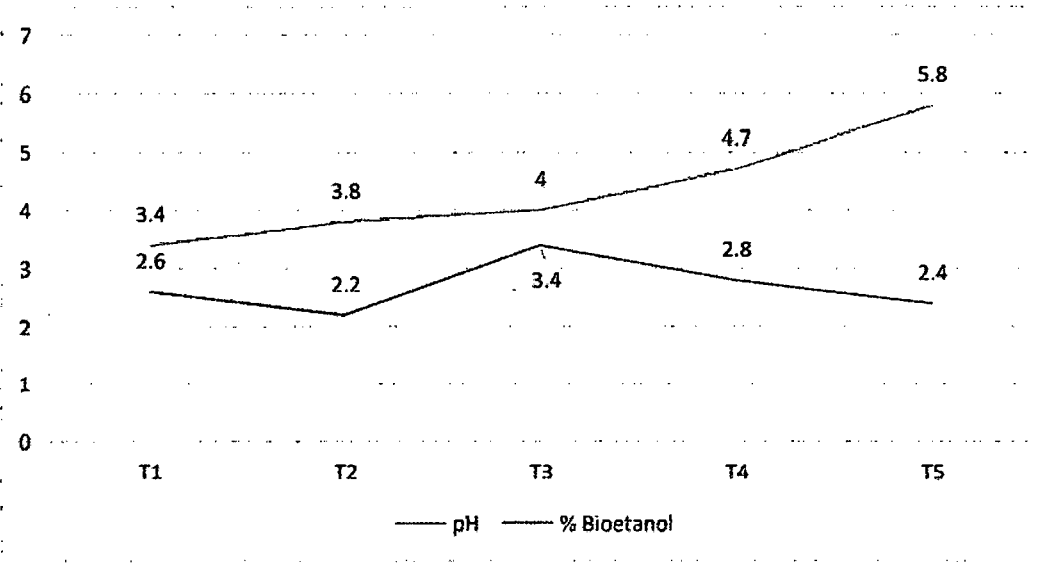
En el cuadro N° 02 y gráfica 02, se muestra el porcentaje de bioetanol obtenido a partir de los ART de la cáscara de plátano maduro, a diferentes temperaturas. Según resultados, el mayor porcentaje de bioetanol se obtiene al experimentar con el tratamiento 3 (150 gr/l \* 0.7L = 105 ml + 595 ml de agua destilada + 1 gr. de levadura) no se puede establecer una regla de correspondencia dado que los

porcentajes de bioetanol no varían directamente o indirectamente respecto a las temperaturas. Se puede concluir que la temperatura ideal es 26 °C.

CUADRO N° 03: Evaluación del pH durante el proceso de obtención de bioetanol a partir de los ART de la Cáscara de plátano verde.

Tratamientos	pH	% Bioetanol
T <sub>1</sub>	3.4	2.6
T <sub>2</sub>	3.8	2.2
T <sub>3</sub>	4	3.4
T <sub>4</sub>	4.7	2.8
T <sub>5</sub>	5.8	2.4

GRAFICO N° 03: Evaluación del pH durante el proceso de obtención de bioetanol a partir de ART de la cáscara de plátano verde.



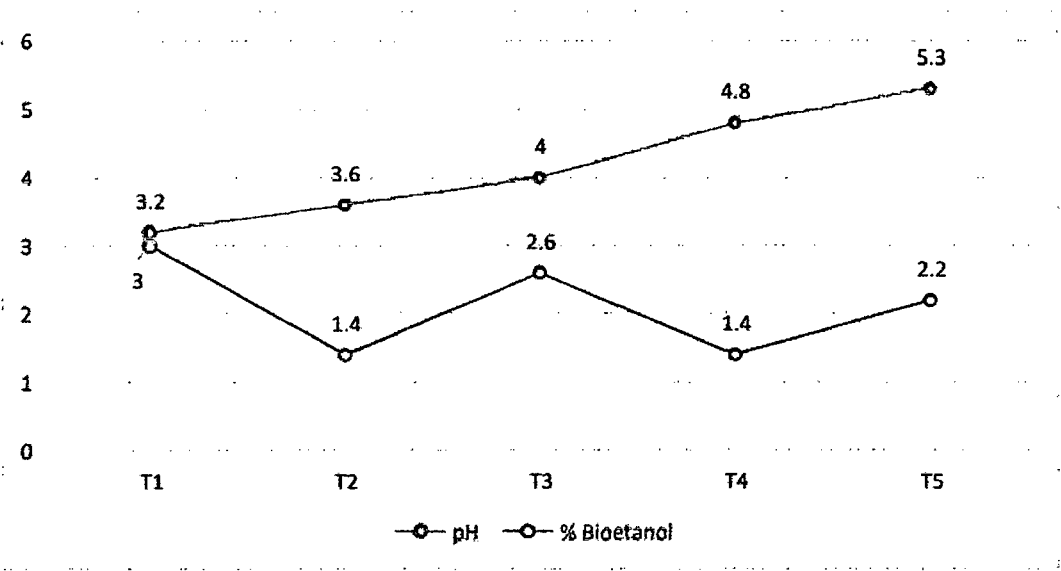
**Interpretación:**

Según los resultados del cuadro 03 y gráfico 03 se observa en el T<sub>3</sub> con 3.4 % de promedio se obtuvo un pH de 4 unidades.

**CUADRO N° 04:** Evaluación del pH durante el proceso de obtención de bioetanol a partir de los ART de la cáscara de plátano maduro

Tratamientos	pH	% Bioetanol
T <sub>1</sub>	3.2	3
T <sub>2</sub>	3.6	1.4
T <sub>3</sub>	4	2.6
T <sub>4</sub>	4.8	1.4
T <sub>5</sub>	5.3	2.2

**GRAFICO N° 04:** Evaluación del pH durante el proceso de obtención de bioetanol a partir de ART de la cáscara de plátano maduro.



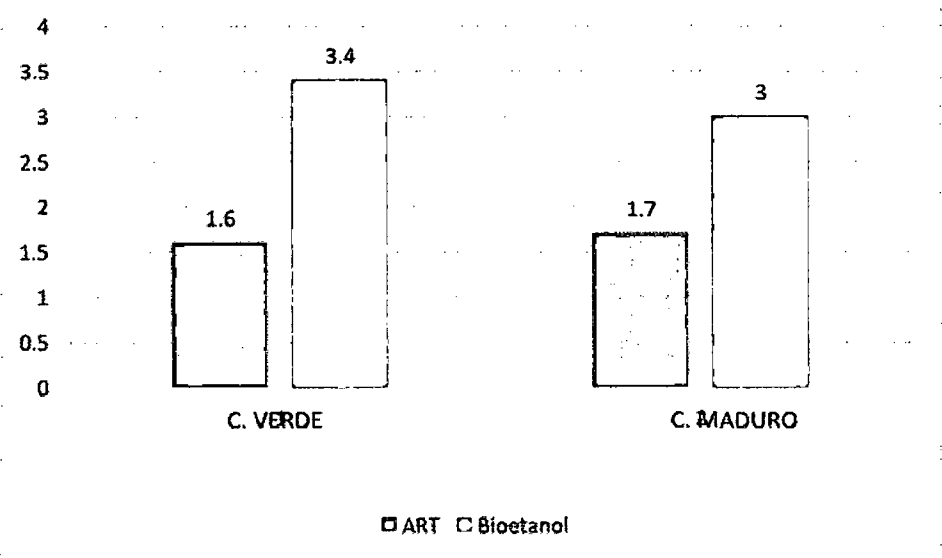
**Interpretación:**

Según los resultados del cuadro 04 y gráfico 04 se observa en el T<sub>1</sub> con un promedio de 3% de bioetanol se obtuvo un pH de 3.2 unidades.

**CUADRO N° 05:** Evaluación de los ART durante el proceso de obtención de bioetanol de la cáscara de plátano verde y maduro

Muestra		% Bioetanol
ART de Cáscara Verde	1.6 gr de azúcar	3,4
ART de Cáscara Maduro	1.7 gr de azúcar	3,0

**GRAFICO N° 05:** Evaluación de los ART durante el proceso de obtención de bioetanol de la cáscara de plátano verde y maduro.



**Interpretación:**

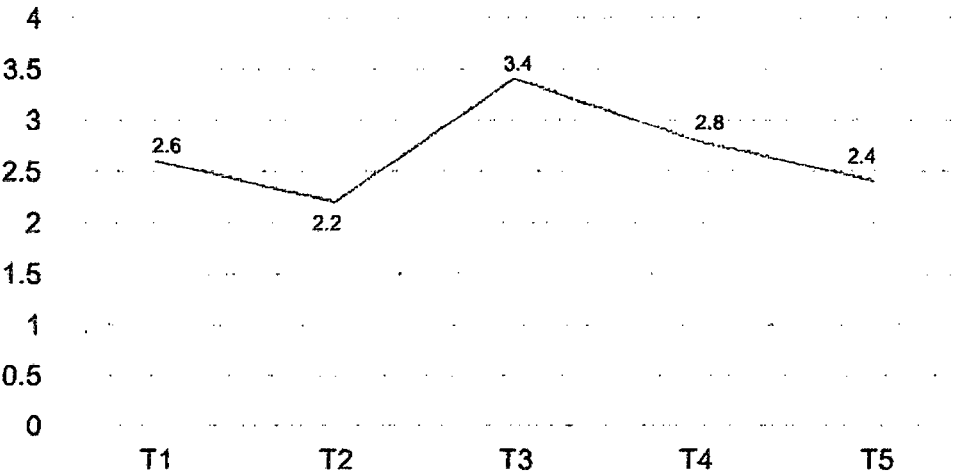
En el gráfico N° 05 y cuadro N° 05 se observa específicamente los ART de la cáscara de plátano verde y maduro que oscila entre 1,6 y 1,7 gr. De azúcar respectivamente.

### 3.1.3 Evaluación del óptimo rendimiento y productividad en la producción de bioetanol a partir de los ART de la cáscara de plátano.

CUADRO N° 06 Porcentaje de bioetanol obtenido a partir de ART de la cáscara de plátano verde.

BLOQUES	TRATAMIENTOS					PROMEDIO
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	
I	1	1	2	2	1	1,4
II	2	2	3	2	1	2,0
III	3	2	3	3	2	2,6
IV	3	2	4	3	3	3,5
V	4	4	5	4	5	4,4
PROMEDIO	2,6	2,2	3,4	2,8	2,4	2,68

GRAFICO N° 06 Porcentaje de bioetanol obtenido a partir de ART de la cáscara de plátano verde.



#### Interpretación:

Según los resultados mostrados por el cuadro 06 y gráfica 06, el mayor porcentaje promedio de bioetanol extraído de los ART lo da el tratamiento 3. Asimismo, se observa que a medida que la fermentación aumenta el porcentaje de bioetanol también aumenta, lo cual significa que existe una relación directa entre los tratamientos y los bloques considerados para el experimento, lo cual amerita el cálculo del coeficiente de correlación y determinación:

COEFICIENTE	ABSOLUTO	PORCENTUAL
Correlación	0,86	86%
Determinación	0,74	74%

Es decir, existe un alto grado de correlación entre las concentraciones de azúcares reductores totales y el tiempo de fermentación a que estuvieron expuestas estas soluciones. Además, el 74% del porcentaje de bioetanol obtenido se debió al tiempo en que estas soluciones permanecieron en los biorreactores.

CUADRO N° 07 Análisis de varianza porcentaje de obtención de bioetanol a partir de ART de la cáscara de plátano verde.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	VALOR F CALCULADO	VALOR F TABULADO
Tratamientos	4	25,84	6,46	30,76	3,01
Bloques	4	4,24	1,06	5,05	3,01
Error	16	3,36	0,21		
Total	24	33,44			

#### Interpretación:

En el cuadro N° 07 muestra los resultados del análisis de varianza. En la investigación es fundamental realizar este análisis dado que la concentración de los ART son independientes de la cáscara de plátano y está relacionada con el tiempo de fermentación de la mezcla lo cual permitirá obtener el bioetanol. En esta cáscara encontramos que según el ANVA, existen diferencias significativas entre los tratamientos; es decir, han concluido de manera diferenciada en la obtención de bioetanol.

Asimismo existen diferencias significativas entre los tiempos que estas mezclas estuvieron expuestas en los biorreactores lo cual significa que el porcentaje de bioetanol está influenciando por el tiempo de fermentación.



**Coefficiente de variación:**

$$CV = \frac{\sqrt{CME}}{PROMEDIO} \times 100$$

$$CV = \frac{\sqrt{0.21}}{2.68} \times 100 = 17.1 \%$$

Respecto al coeficiente de variación, establece que los resultados pueden ser o no confiables; son confiables cuando es menor del 30%. En la presente investigación el coeficiente de variación fue de 17.1% por lo que podemos concluir que los datos son estadísticamente confiables.

CUADRO N° 08 tratamiento óptimo para el porcentaje de obtención de bioetanol a partir de ART de la cáscara de plátano verde.

	TRATAMIENTOS				
	T <sub>2</sub> :2.2	T <sub>5</sub> :2.4	T <sub>1</sub> :2.6	T <sub>4</sub> :2.8	T <sub>3</sub> :3.4
T <sub>2</sub> :2.2	-	0,2	0,4	0,6	1,2*
T <sub>5</sub> :2.4	-	-	0,2	0,4	1,0
T <sub>1</sub> :2.6	-	-	-	0,2	0,8
T <sub>4</sub> :2.8	-	-	-	-	0.6
T <sub>3</sub> :3.4	-	-	-	-	-
ALS(D)		0,83	0,84	0,84	0,84

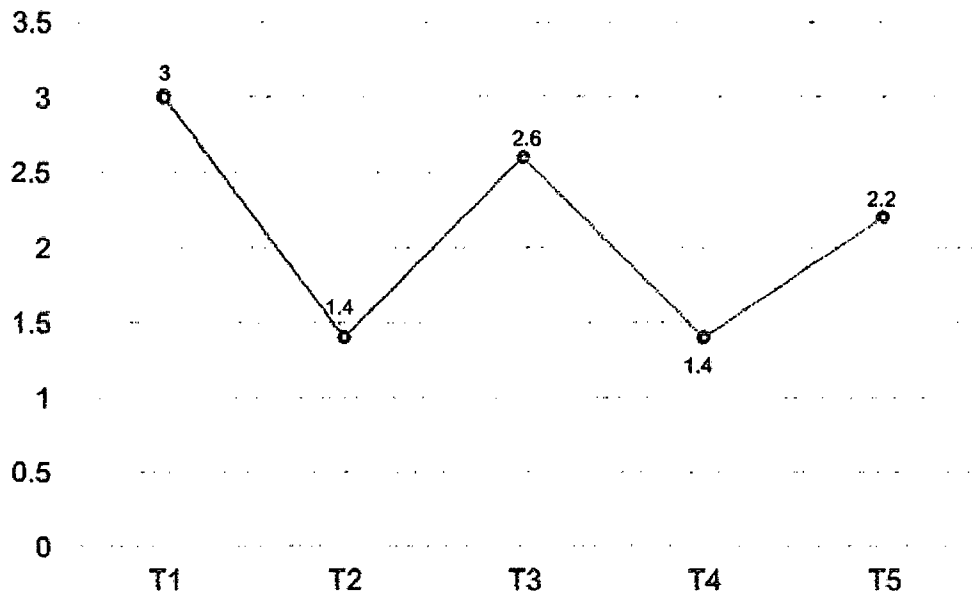
**Interpretación:**

De los resultados del cuadro 08, se deduce que el tratamiento óptimo es el tratamiento 3, según la prueba de Duncan con 95% de confianza y con un 3.4 % de bioetanol; en el noveno día de fermentación.

CUADRO N° 09 Porcentaje de bioetanol obtenido a partir de ART de la cáscara del plátano maduro.

BLOQUES	TRATAMIENTOS					PROMEDIO
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	
I	1	0	1	0	1	0,6
II	2	1	2	1	1	1,4
III	3	1	3	1	2	2,0
IV	4	2	3	2	3	2,8
V	5	3	4	3	4	3,8
PROMEDIO	3,0	1,4	2,6	1,4	2,2	2,12

GRAFICO N° 07 Porcentaje de bioetanol a partir de ART de la cáscara de plátano maduro.



**Interpretación:**

Según los resultados mostrados por el cuadro 09 y gráfico 07, el mayor porcentaje promedio de bioetanol lo da el tratamiento 1. También, se observa que a medida que pasan los días de fermentación el porcentaje de bioetanol también aumenta, lo cual significa que existe una relación directa entre los tratamientos y los bloques

considerados para el experimento, lo cual amerita el cálculo del coeficiente de correlación y determinación:

COEFICIENTE	ABSOLUTO	PORCENTUAL
Correlación	0,85	85%
Determinación	0,72	72%

Es decir, existe un alto grado de correlación entre las concentraciones de azúcares reductores totales y el tiempo de fermentación a que estuvieron expuestas estas soluciones. Además, el 72% del porcentaje de bioetanol obtenido se debió al tiempo en que estas soluciones permanecieron en los biorreactores.

**CUADRO N° 10** Análisis de varianza porcentaje de obtención de bioetanol a partir de ART de la cáscara de plátano maduro

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	VALOR F CALCULADO	VALOR F TABULADO
Tratamientos	4	30,64	7,66	69,64	3,01
Bloques	4	10,24	2,56	23,27	3,01
Error	16	1,76	0,11		
Total	24	42,64			

#### **Interpretación:**

Según los resultados mostrados en el cuadro 10, dado que el valor F calculado es mayor que el valor F tabulado, se deduce que existe diferencia significativa entre los tratamientos y también entre los bloques; es decir, contribuyeron de manera diferenciada para la obtención del bioetanol.

#### **Coefficiente de variación:**

$$CV = \frac{\sqrt{CME}}{SUMA\ TOTAL} \times 100$$

$$CV = \frac{\sqrt{0.11}}{2.12} \times 100 = 15.6\%$$

Respecto al coeficiente de variación, establece que los resultados pueden ser o no confiables; son confiables cuando es menor del 30%. En la presente investigación el coeficiente de variación fue de 15.6% por lo que podemos concluir que los datos son estadísticamente confiables.

**CUADRO N° 11** tratamiento óptimo para el porcentaje de obtención de bioetanol a partir ART de la cáscara de plátano maduro

	TRATAMIENTOS				
	T <sub>2</sub> 1:4	T <sub>4</sub> 1:4	T <sub>5</sub> 2:2	T <sub>3</sub> 2:6	T <sub>1</sub> 3:0
T <sub>2</sub> 1:4	-	0,0	0,8*	1,2*	1,6*
T <sub>4</sub> 1:4	-	-	0,8	1,2	1,6
T <sub>5</sub> 2:2	-	-	-	0,4	0,8
T <sub>3</sub> 2:6	-	-	-	-	0,4
T <sub>1</sub> 3:0	-	-	-	-	-
ALS(D)		0,59	0,60	0,60	0,60

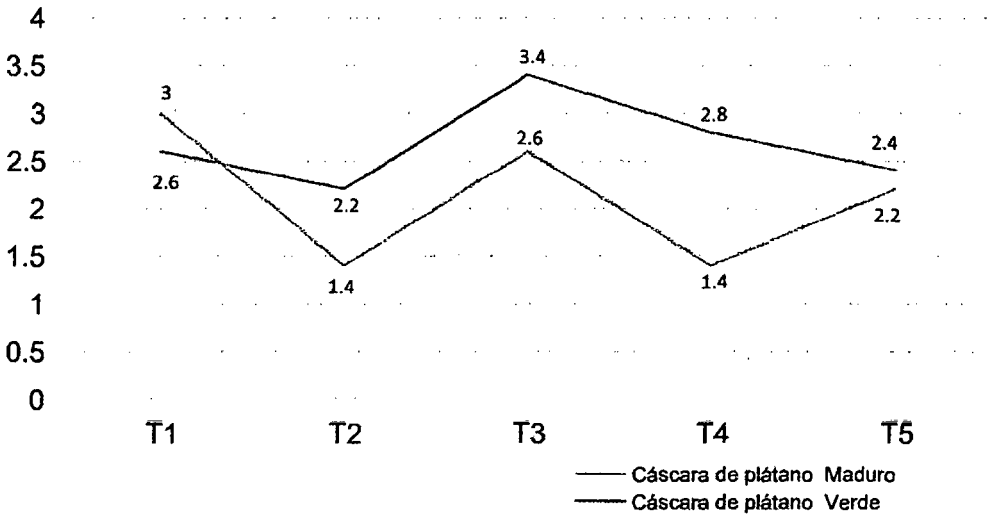
#### **Interpretación:**

De los resultados del cuadro 11, se deduce que el tratamiento óptimo es el tratamiento 1, según la prueba de Duncan con 95% de confianza; con un 3% de bioetanol y al tercer día de fermentación.

**CUADRO N° 12 Comparación entre el porcentaje de obtención de bioetanol a partir de los ART de la cáscara de plátano maduro y plátano verde**

TRATAMIENTOS	CÁSCARA DE PLÁTANO	
	MADURO	VERDE
T <sub>1</sub>	3,0	2,6
T <sub>2</sub>	1,4	2,2
T <sub>3</sub>	2,6	3,4
T <sub>4</sub>	1,4	2,8
T <sub>5</sub>	2,2	2,4
PROMEDIO	2,12	2,68

**GRAFICO N° 08 Comparación entre el porcentaje de obtención de bioetanol a partir de los ART de la cáscara de plátano verde y maduro.**



**Interpretación:**

En el cuadro 12 y gráfico 08, se presentan las comparaciones entre el porcentaje de bioetanol obtenido que a partir de los ART de la cáscara de plátano verde y maduro. Según los resultados, el mayor porcentaje de bioetanol se obtuvo en el tratamiento 3 con un 3.4% de bioetanol en cáscara verde y en el tratamiento 1 con un 3 % de bioetanol en cáscara maduro. Asimismo, se procedió también a observar que a partir de los ART de la cáscara de plátano verde se obtiene el mayor porcentaje de bioetanol.

### 3.2 DISCUSIONES

Concluida la experimentación, se generó la siguiente discusión respecto a los resultados:

Coincidiendo con Gnansounou et al. (2005), Se propone que para poder reducir el costo de las materias primas y minimizar el impacto generado por la producción de combustible convencional, es necesario recurrir a sustratos alternativos como la biomasa lignocelulósica, la cual, debido a su bajo costo y alta disponibilidad, juega un papel importante como materia prima para la producción de etanol a mediano y largo plazo. El uso de ese tipo de materia prima contribuirá positivamente a la seguridad energética y alimentaria, y al fomento de la economía.

En esta perspectiva, Sierra, (2007); afirma que la cáscara de plátano es una materia prima apta para la obtención de bioetanol dado que presenta un alto contenido de carbohidratos (aproximadamente 20% de su peso) aptos para procesos fermentativos encaminados a la producción de bioetanol lo cual constituye una característica importante que converge con el hecho de que en el país se generan cada año aproximadamente 800 mil toneladas de cáscara plátano, siendo los dos tercios del residuo los que potencialmente se pueden usar en procesos de fermentación alcohólica.

Tal como afirma **Baptista, (2006)**; usando levaduras *S. cerevisiae* para la producción de etanol en fermentaciones tradicionales en *batch*, la productividad está limitada entre 1,8 a 2,3 g/Lh, la cuales baja y resulta costosa para la producción de biocombustible, sin embargo en esta investigación se ha logrado obtener 4,9 % de bioetanol de la cáscara verde y 4,3 % de la cáscara madura, lo cual indica que este residuo orgánico constituye un buen sustrato para la fermentación alcohólica.

Es precisamente, que basándonos en esta afirmación que se demostraron las propiedades de la cáscara de plátano para la producción de alcohol, siendo la cáscara del plátano verde la que proporciona el mayor porcentaje promedio de bioetanol debido a que posee almidón, el cual es desdoblado en glucosa por acción de enzimas amilasas que poseen las levaduras.

Asimismo, también se experimentó con cáscara de plátano maduro, obteniendo un porcentaje menor de alcohol respecto a la cáscara del plátano verde. En ambos casos observamos que los tratamientos considerados en el experimento difieren entre sí.

Un factor importante sometido a control, mediante bloques es el **tiempo de fermentación** a que estuvieron expuestas estas soluciones en los biorreactores, dado que al correlacionar encontramos que existe un alto grado de correlación o relación directa entre los niveles de concentraciones de azúcares reductores totales y el tiempo de fermentación de las soluciones. Así mismo, es importante tener en consideración que el proceso de fermentación alcohólica otros de los factores influyentes es el pH, tal como lo indica Young, (2005), quien manifiesta que para la cepa de *Sacharomyces cerevisiae*, se debe ajustar el pH del medio a 4; de igual manera la temperatura a la cual se debe realizar el proceso debe oscilar entre 25 a 30 °C, es por ello que se ha dejado los biorreactores a temperatura ambiente entre 25 °C +/- 3°C, para favorecer el proceso de fermentación anaeróbica y 200 rpm, con un agitador que permitió la homogenización de los azúcares reductores totales y su mejor consumo por las levaduras.

Finalmente, tal como lo afirman **Jiménez, (1989)**, se coincide que el bioetanol se puede producir por la fermentación de los azúcares contenidos en la materia orgánica de las plantas. En este proceso se obtiene el alcohol hidratado, con un contenido aproximado del 5% de agua, que tras ser deshidratado se puede utilizar como combustible. El bioetanol mezclado con la gasolina produce un biocombustible de alto poder energético con características muy similares a la gasolina pero con una importante reducción de emisiones contaminantes en los motores tradicionales de la combustión, con lo cual estaríamos disminuyendo significativamente la contaminación del ambiente.

### 3.3 CONCLUSIONES.

Concluido el proceso investigativo se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se ha obtenido un porcentaje de bioetanol de 4,9 % a partir de los azúcares reductores totales de cáscara verde de plátano en el tratamiento tres (T3), que es el óptimo para la obtención del mayor porcentaje del bioetanol en promedio; es decir que en base a la cáscara del plátano. Así mismo se ha obtenido 4,3 % de bioetanol a partir de los azúcares reductores totales de la cáscara madura del plátano.

Existe diferencia significativa entre los tratamientos y también entre los bloques; es decir, tanto los tratamientos como los bloques contribuyeron de manera diferenciada para la obtención del bioetanol a partir de la cáscara de plátano.

Así mismo, existe un alto grado de correlación o relación directa entre los niveles de concentraciones de azúcares reductores totales y el tiempo de fermentación a que estuvieron expuestas estas soluciones en los biorreactores.

- Como factores influyentes para una mejor fermentación, se debe considerar que el pH debe ser de 4, cuando se trabaja con *Sacharomyces cereviscae* y la temperatura debe ser entre los 25°C +/- 3 °C; así mismo la concentración de ART de cáscara de plátano verde (15g/l) es el óptimo para producir mayor porcentaje de bioetanol.
- Se ha logrado diseñar un protocolo para la producción de bioetanol, a partir de los ART de cáscara de plátano y maduro la cual consiste en los siguientes pasos: Extracción de los ART (picado, secado, molido, hervido, esterilización de frascos), determinación de la concentración de los ART por Folin and Wu, Instalación de biorreactores y fermentación de los ART con la producción en porcentaje de bioetanol. Lo que se propone en esta investigación, es obtener bioetanol de un residuo sin atentar contra las reservas alimentarias de la población , se plantea hacer uso de los residuos orgánicos producto del cultivo y consumo del plátano, este desecho en la actualidad no cuenta con ningún tipo de manejo o uso, por lo que la obtención de bioetanol de los ART del residuo de la cáscara de plátano es conveniente , ya que ayuda a que estos no sean un problema ambiental, se le da un valor agregado y la producción de bioetanol con fines de biocombustible contribuye con el esfuerzo de disminuir con el calentamiento global y limita la dependencia energética que tenemos con el petróleo .



### **3.4. RECOMENDACIONES**

Producto de la experiencia obtenida al realizar la investigación se recomienda lo siguiente:

A la Universidad Nacional de San Martín; seguir investigando sobre el tema, dado que el bioetanol, mezclado con la gasolina produce un biocombustible de alto poder energético con características muy similares a la gasolina pero con una importante reducción de emisiones contaminantes en los motores tradicionales de la combustión.

A la Universidad Nacional de San Martín; aprovechar los numerosos residuos con alto contenido en azúcares reductores totales que existen en nuestro medio y que pueden utilizarse como fuente de energía renovable, evitando así su acumulación o impactos negativos.

A la Municipalidad Provincial de Moyobamba y ONG, realizar campañas de concientización entre la población dado que el tema de contaminación es muy amplio y es tarea de todos incluido el cuidado y conservación del ambiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Afanador, A. (2005).** El banano verde de rechazo en la producción de alcohol carburante. Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia. Vol. (3) 51-52.pp.
- Aguilar, C. Canizales, J. (2005).** Residuo Lignocelulósico Cervecerero, una nueva materia prima. Universidad Veracruzana. Revista Cerveza y Malta.168, 37-41. pp.
- Aycachi, R. (2009)** *Producción de bioetanol a base de materiales biológicos como azúcares fermentables y desechos orgánicos, métodos de producción, usos, ventajas y posibles aplicaciones.* Curso de Titulación dado en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo - Lambayeque – Perú.
- Bailón, S. (2001)** *Influencia del sulfato de amonio, nitrato de potasio y urea en la producción de proteína unicelular de Candida utilis var. major.* Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias. Mención Microbiología Industrial y Biotecnología. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú.
- Balat, M. (2011)** Producción de bioetanol a partir de materiales lignocelulósicos a través de la vía bioquímica: Revista Conversión de Energía y Gestión. Vol (52).858-875 pp.
- Baptista, C. L. (2006)** Natural inmovilización de microorganismos para la producción continua de etanol. Ecuador. Edit. Enzyme y Microbial Technology
- Baratura, (2003),** Programa de gestión social y ambiental del sector bananero colombiano. Revista EIA.66- 69 pp.
- Bárdales, C. (2009)** Extracción de azúcares reductores totales de “peladilla” de Asparagus officinalis “esparrago”. Revista del Herbario HAO. Vol (1). 71-73pp.
- Bocanegra, A. (2008)** *Evaluaron los rendimientos en el proceso de obtención de alcohol a partir de harina de Ñame (Dioscorea Bulbifera, Trifida).* Educación Ciencias. Edición. Programa de Biología. Sincelejo.
- Bohlmann, G.M. (2006)** Procesar las consideraciones económicas para la producción de etanol a partir de materias primas de biomasa. Biotecnología Industrial. Tanzanía. edit. BIBIACO.
- Cabrera, J.A. (2006)** Biocarburantes líquidos biodiesel y bioetanol. Prospectiva y vigilancia tecnológica. Madrid. Edit. CIEMAT.
- Castaño P. (2011)** Producción de etanol a partir de harina de yuca en un sistema de hidrólisis enzimática y fermentación simultánea. Revista Facultad Nacional de Minas. Vol (7). 158-169 pp.

- Castro, A. (1974)** *Utilización de los rechazos bananeros y disponibilidad de materias primas y su uso actual*. Tesis ing. Agr. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
- Cereda, M. (2004)** Clasificación enzimas como adicionales en el proceso de hidrólisis de sacarificación de Bran- yuca para la producción de etanol, Ciencia y tecnología de los alimentos. Revista raíces tropicales. Vol (19). 182 - 199 pp.
- Cheng, J. L. (2002)** La hidrólisis de materiales lignocelulósicos para la producción de etanol. Colombia. Edit. BITEC.
- Corporación Colombia Internacional. (2006).** Evaluaciones Agropecuarias Municipales: Cultivos transitorios por municipio. Tolima. Vol. (1).
- Dammert, B. J. (2008)** Biocombustibles en el Perú: Elementos en Juego. Sociedad Peruana de Derecho Ambiental vol. (1). 76- 98 pp.
- Dante, F. (2001)** Guía No. 2. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos. Colombia. Edit. OIS.
- Espinosa, C. (2013)** Obtención de etanol mediante hidrólisis alcalina, enzimática y fermentación a partir del excedente orgánico del banano variedad musa paradisiaca. Quito. Edit. UCE.
- Fennema, O. (1993)** Química de los Alimentos. 2da. Editorial ACRIBIA, Zaragoza, España.
- Ferrer, A. F. (2002)** Optimización de las condiciones de procesamiento de amoníaco para mejorar la susceptibilidad de las leguminosas a la fibra de hidrólisis. Florigrade maní rizoma. Aplicada Bioquímica y Biotecnología. [Consultado: 4 de Enero de 2002]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12018243>.
- Freese, F. (1998)** Métodos estadísticos elementales para técnicas forestales. México. Edit. Departamento de agricultura de los Estados Unidos de América
- García, L. (2005)** Diseño de un proceso para la hidrólisis de residuos lignocelulósicos. [Consultado el 18 de Noviembre de 2008]. Disponible en: <http://www.cicataqro.ipn.mx>
- Garrigues, A. (2003)** Manual para la Gestión de los Residuos Urbanos. El consultor de los ayuntamientos y de los juzgados. Madrid. Edit. Ecoiuris.
- Gnansounou, J. (2005)** Bioetanol y la producción FUTURAL de vetiver, en la tecnología Bioresource . Tailandia. Edit. Estrada.

- Gómez, F.(2014)** El plátano: Un cultivo tradicional con importancia nutricional. Revista Del Colegio de Farmaceúticos del Estado Mérida. Vol. (13). 11–14.pp.
- Gómez, J. (1999)** *Variación de la concentración de aminoácidos obtenidos a partir de la fermentación de suero láctico*. Tesis para optar el grado de bachiller en Farmacia y Bioquímica. Universidad Nacional de Trujillo. Perú.
- Gómez, J. (2014)** *Variación de la concentración de aminoácidos obtenidos a partir de la fermentación de suero láctico con Kluyveromyces fragilis*. Tesis para optar el título de ing. químico. Universidad Nacional de Trujillo. Perú.
- Grisales. P. A. (2001)** Diseño de un proceso de producción de etanol anhidro a partir de jugo de caña. España. Edit. ACRIBIA.
- Guerrero, D. O. (2012)** Diseño de la línea de producción y análisis experimental de la obtención de etanol a partir de residuos agrícolas de plátano. Piura. Edit. PTBSA
- Herrera, A W.( 2011)** Producción de etanol a partir de hidrolizados de rastrojo de maíz. México. Edit. Imagia Comunicación.
- Hincapié, A. F. (2004)** Uso del banano verde de rechazo y úrea en el engorde de novillos cebú en un sistema intensivo de estabulación en la zona de Urabá. Colombia. Edit. OLADE.
- Horta, A. P. (2008)** Producción de bioetanol y biodiesel a partir de la caña de azúcar. Brasil. Edit. Académica Española
- <http://www.youtube.com/watch?v=ziTS7NaGfPU&feature=related>
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Musa\\_\(planta\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Musa_(planta)).
- Jiménez, L. R. (1989)** Desarrollo de un proceso sostenible para la producción de bioetanol a partir de desechos agroindustriales. Madrid. España. Edit. Prensa Ibérica
- Kim, K. J. (1985)** La hidrólisis ácida de la batata para la producción de etanol. Biotecnología y Bioingeniería .Tailandia. Edit. Corpoica
- Lázaro, L. (1994)** Aprovechamiento de residuos de la industria de conservas vegetales: hidrólisis enzimática. España. Edit. RENOVETEC
- León, C. (2004)** *Influencia del sulfato de amonio, nitrato de potasio y urea en la producción de proteína unicelular de Candida utilis var. major*. Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias. Mención Microbiología Industrial y Biotecnología. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú.

- Martínez, A.A. (2003)** *Evaluación del rendimiento de etanol en una fermentación continua con *Zymomonas mobilis**, Tesis para optar el título de ing. Bioquímico. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Colombia.
- Molina, (2003)** Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca. Revista Facultad Nacional de Minas. Vol (73). 121 – 128 pp.
- Monsalve, J.F. (2006)** Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca y jarabes de cáscara de frutas Dyna Revista Facultad de Minas. Vol (73). 21-27 pp.
- Montes, N. (2004)** *Hidrólisis enzimática del residuo del banano verde*. Tesis para optar el grado de Ingeniero Químico. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas. . Medellín. Colombia.
- Olsson, L. (1996)** Hidrólisis enzimática separada y simultánea y la fermentación de la hemicelulosa de trigo con xilosa recombinante utilizando *Saccharomyces cerevisiae* . Aplicada Bioquímica y Biotecnología. Tailandia. Edit. Hispanoamericana.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura, la Alimentación y Estadística. (2009)** Global Market Analysis, la producción nacional de plátano en el periodo comprendido entre 2007-2010. June issue.
- Ortiz, V. T. (1999)** Utilización del banano de rechazo en la alimentación porcina. Medellín. Edit. Feriva.
- Parraguez, L. (2014)** La producción de bioetanol a partir de residuos agrícolas. México. Edit. UNAM
- Pasberg, G. (2002)** Desarrollo de soluciones al problema ambiental desde el proceso (producción más limpia y eco eficiencia), encaminadas a disminuir el volumen del residuo, Colombia. Edit. CEPAL.
- Rodríguez, E. (2009)** Tolerancia al etanol de la levadura termotolerantes cultiva en mezcla de sacarosa y etanol. Argentina. Edit. Teseo.
- Sánchez, A. Riano, M. (2010)** Optimización de las condiciones de fermentación para la producción de etanol a partir de almidón según la utilización de la metodología de respuesta. España. Edit. Sheffield Academic.
- SENA, (2003)** Caracterización subsector bananero en Colombia. Bogotá. Edit. López.
- Sierra D. M. (2007)** Informe presentado en el comité Plan Puebla Panamá. Gobernación de Antioquia. Inédito. Medellín.

**Sistema de información de precios del sector agropecuario (2010).** Censo Nacional Agropecuario Colombia.

**Sota, R. (2006.)** tecnologías de producción de biodiésel y Obtención de etanol a través de biomasa lignocelulósica de la cáscara de plátano mediante procesos de hidrólisis enzimática. Madrid. Edit. P&W

**Taherzadeh, M. J. (1999)** La conversión de los hidrolizados - diluidas de ácido de abetos y abedules de etanol por fermentación de alimentación discontinua. Uruguay. Edit. VIDIIOE.

**Teubner, C. (1999)** El gran libro de los frutos exóticos. Grupo Ángel Rey (Import, Export & Marketing). Colombia. Edit. Everest.

**Urbaneja, G. (1997)** Hidrólisis ácida y caracterización de carbohidratos de la pulpa de café. Universidad Nacional. Revista Facultad de Agronomía. Vol. 14, Colombia. 265-275 pp.

**Valenzuela, M. (2012)** Evaluación de las levaduras que fermentan la xilosa para la producción de etanol a partir de licor de sulfito gastado. California. Edit. Arnold.

**Velásquez, A (2007)** Análisis Energético del Proceso de Obtención de Etanol a partir de Excedentes Orgánicos del Banano. 8º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. Cuzco. Recuperado el 19 de noviembre de 2009: disponible en:  
[www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544210001817](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544210001817)  
[www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tropicales/platano.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano.htm).

[www.senamhi.gob.pe](http://www.senamhi.gob.pe)

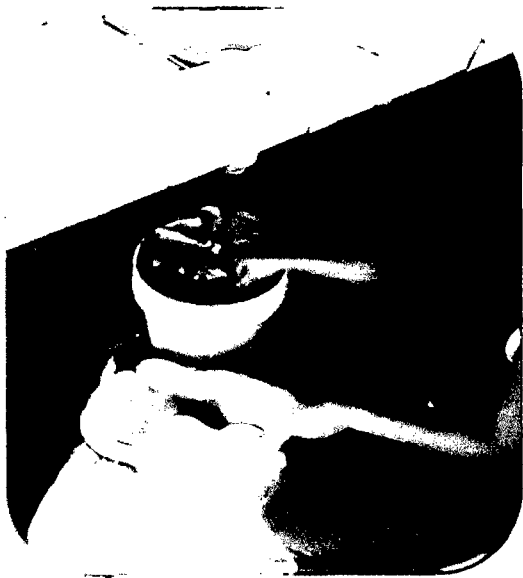
**Young J. (2005)** La sobreexpresión de la xiluloquinasa en una xilosa metabolizar cepa recombinante de *Zymomonas mobilis*. Australia. Edit. FEMS.

**Zhang. L, (2011)** Aplicación de sacarificación y fermentación simultáneas (SSF) de viscosidad educir de camote prima para la producción de bioetanol en el laboratorio , piloto y escalas industriales. Revista amanecer. Colombia. Vol. (2). 214-223 pp.

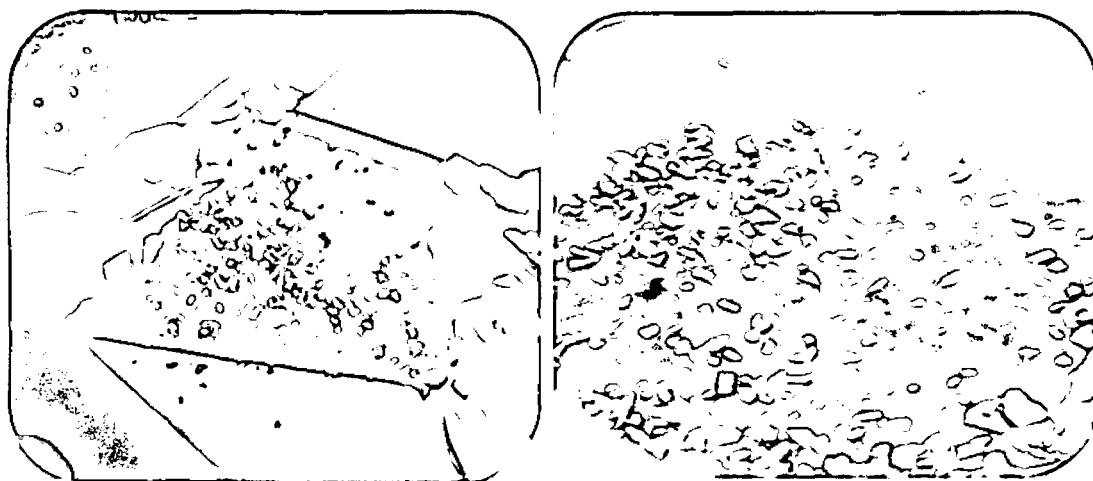
**Zuñiga, A. (1993)** *Efecto de diferentes niveles de cáscara de banano sobre la degradabilidad de los forrajes tropicales*. Tesis Ing. Agr. Zoot. San José, CR, UCR. Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil. Ecuador.

**ANEXOS: PANEL FOTOGRAFICO**

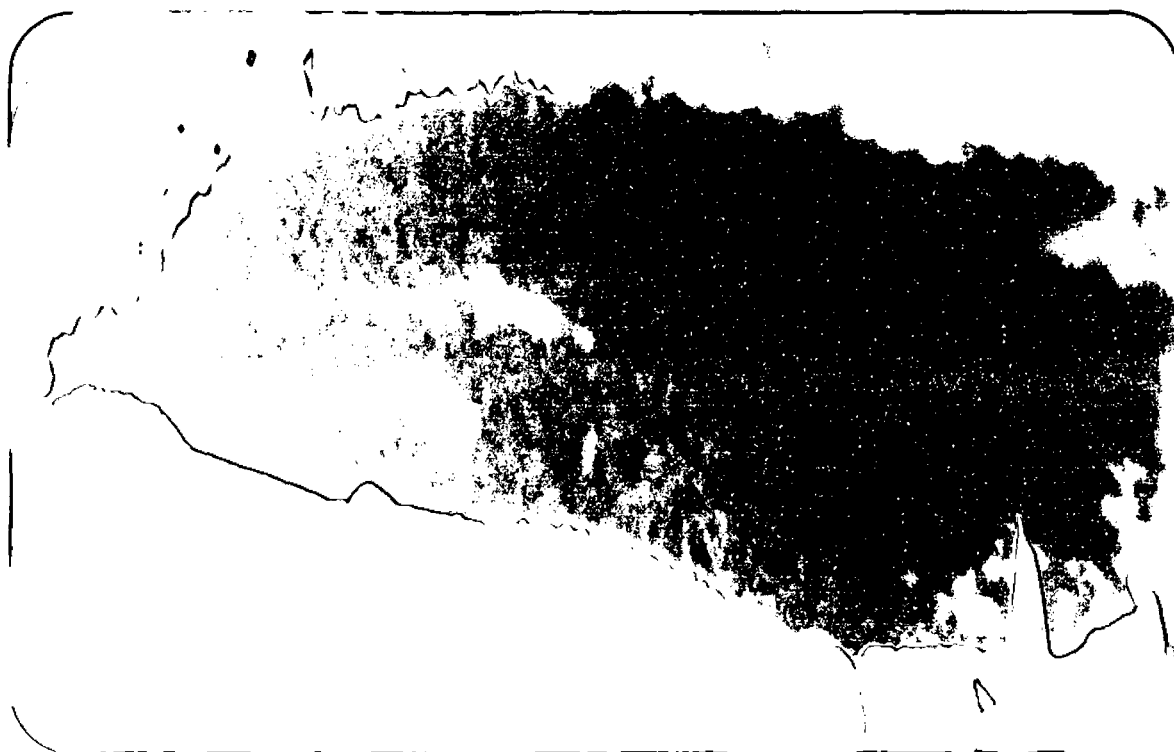
**Imagen N° 001:** Recolección de la càscara de plátano del Mercado Ayaymama -Moyobamba



**Imagen N° 002:** Primera etapa “picado de la cáscara de plátano”

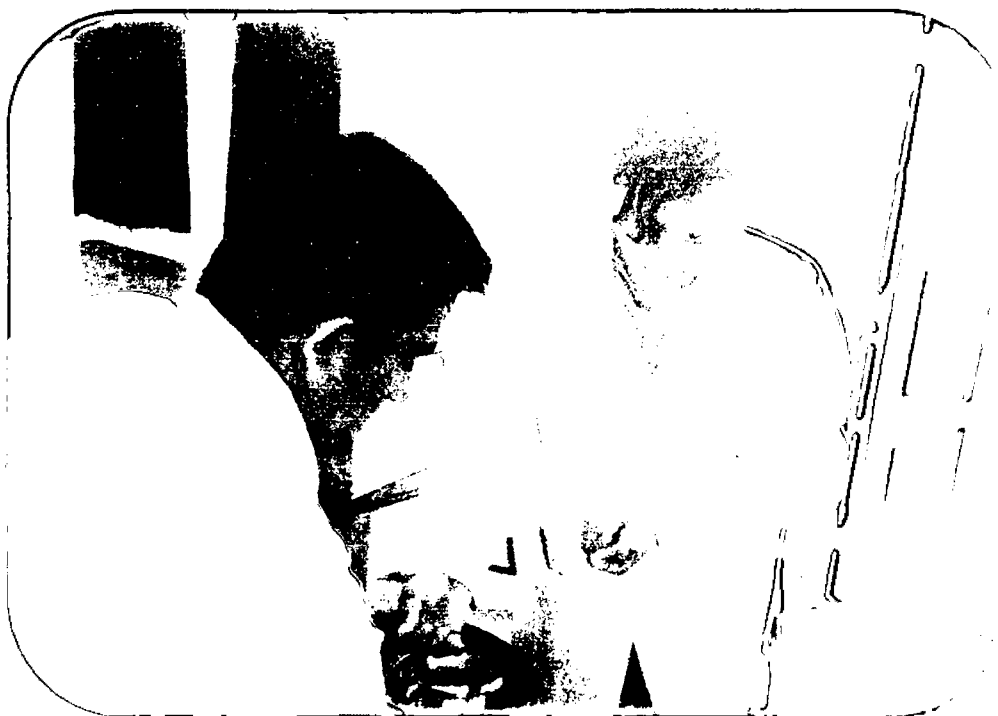


**Imagen N° 003:** Secado de la cáscara de plátano.





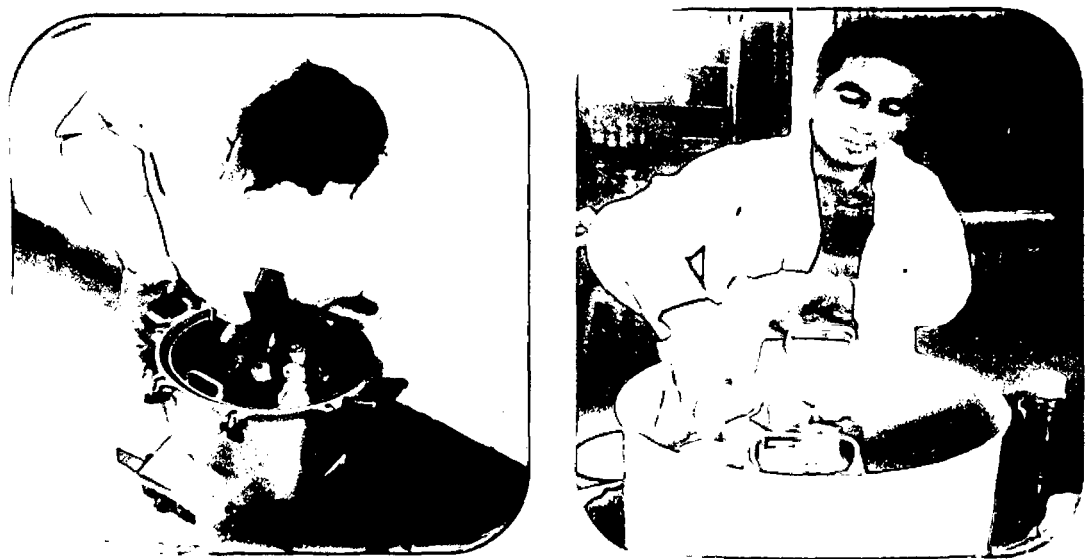
**Imagen N° 004:** Molido de la càscara de plátano.



**Imagen N° 005:** llenado en los frascos los azúcares reductores totales.



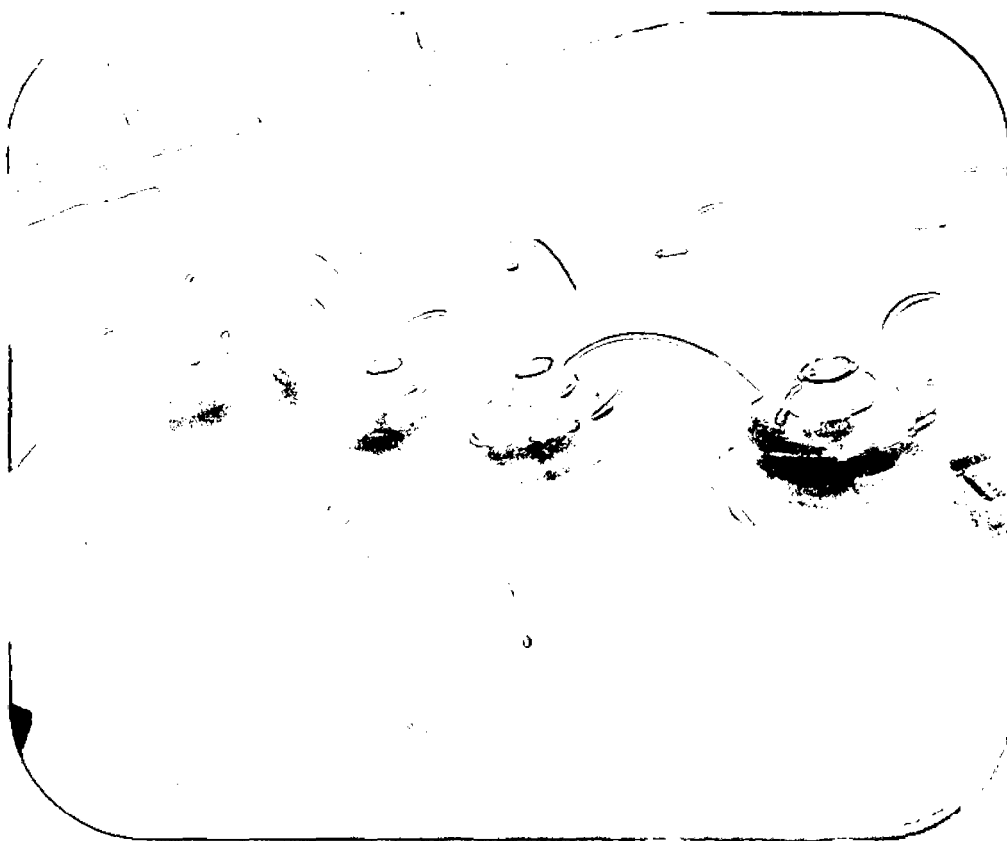
**Imagen N° 006:** Extracción de ART (Método físico)



**Imagen N° 007:** Los biorreactores esterilizados.



**Imagen N° 008:** Proceso de fermentación para la obtención de bioetanol con cáscara Verde.



**Imagen N° 009:** Proceso de fermentación para la obtención de bioetanol con càscara madura



**Imagen N° 0010:** obtención del porcentaje de bioetanol - alcoholímetro.



